

Raport științific și tehnic - etapa 2

Stabilirea structurii funcționale a instalației de tip biorafinărie pe baza conceptului HILS (Hardware in the Loop Simulations), proiectarea fotobioreactorului de laborator și proiectarea de algoritmi de control validați pe model matematic

Rezumatul raportului

Etapa 2 a proiectului Nr. 269/2014 – BIOCON (Stabilirea structurii funcționale a instalației de tip biorafinărie pe baza conceptului HILS (Hardware in the Loop Simulations), proiectarea fotobioreactorului de laborator și proiectarea de algoritmi de control validați pe model matematic) a constat în realizarea a șapte activități, după cum urmează: *Stabilirea structurii funcționale a instalației de tip biorafinărie pe baza conceptului HILS* (activitatea 2.1), *Proiectarea fotobioreactorului pentru creșterea fotosintetică a microalgelor* (activitatea 2.2), *Proiectarea și configurarea structurii hardware de conducere a instalației de tip biorafinărie în conformitate cu structura funcțională adoptată* (activitatea 2.3), *Proiectarea sistemului de interfață om-mașină pentru instalația de tip biorafinărie, în conformitate cu structura HILS adoptată* (activitatea 2.4), *Proiectarea și validarea în regim de simulare numerică a controlului fuzzy pentru instalația de tip biorafinărie* (activitatea 2.5), *Proiectarea și validarea în regim de simulare numerică a controlului optimal pentru digesterul anaerob și fotobioreactor* (activitatea 2.6) și *Diseminarea rezultatelor obținute* (activitatea 2.7). Toate activitățile **au fost realizate integral** și au rolul de a pregăti etapa 3 a proiectului, în care se prevede obținerea unor rezultate pe cale experimentală pe structura pilot a instalației de tip biorafinărie (HILS) adoptată în cadrul proiectului.

În cadrul activității 2.1 a fost stabilită o diagramă a fluxurilor schimbate între cele două componente interconectate ale instalației de tip biorafinărie în structură HIL. Sunt prezentate procesele chimice și biochimice care au loc atât în digester, cât și în fotobioreactor rezultând o schemă funcțională care va sta la baza experimentelor din etapa 3 a proiectului.

Activitatea 2.2 a constat în proiectarea fotobioreactorului de laborator (componenta fizică a structurii HILS). Astfel, a fost ales un fotobioreactor de formă rectangulară, cu volumul util de 5l. Au fost proiectate și dimensionate toate elementele constructive ale corpului fotobioreactorului. Au fost alese tractoarele și elementele de execuție necesare dezvoltării și implementării sistemului de monitorizare și control al fotobioreactorului. Tot în cadrul activității 2.2, a fost proiectat și sistemul de iluminare cu led-uri necesar creșterii microalgelor.

În cadrul activității 2.3 s-a adoptat un sistem de interfață (pentru funcțiile de achiziție și comandă) din familia dSpace, care permite implementarea funcțiilor de monitorizare și control pe baza unor scheme Matlab-Simulink. Aceste scheme sunt convertite în codul aferent sistemului dSpace și rulează on-line pe placa dSpace. A fost, de asemenea, configurat și calculatorul pe care rulează programele Matlab-Simulink, precum și interfața grafică.

În cadrul activității 2.4 a fost proiectată interfața grafică om-mașină pentru operarea instalației de tip biorafinărie. Interfața a fost dezvoltată în mediul ControlDesk și, prin ecranele construite, oferă facilități de vizualizare a valorilor numerice ale mărimilor de interes din proces, facilități de afișare grafică pentru urmărirea evoluțiilor în timp ale variabilelor procesului, de introducere a mărimilor de

referință, de schimbare în timpul rulării aplicației a valorilor parametrilor reguletoarelor și de stocare a valorilor variabilelor procesului în vederea unor prelucrări ulterioare.

În cadrul activității 2.5 s-a abordat controlul fuzzy al fotobioreactorului. Astfel, s-au propus și validat prin simulare numeric un algoritm control fuzzy pentru digesterul anaerob, un algoritm de control fuzzy pentru fotobioreactor și apoi controlul întregii instalații de tip biorafinărie. Pentru acest ultim punct s-a studiat în prealabil efectul conectării fotobioreactorului cu digesterul anaerob asupra buclelor de reglare. Concluzia care se desprinde de aici este că substratul de intrare (mărime de perturbație) are o pondere mai redusă și un efect lent, pe influențele produse de rata de diluție a digesterului anaerob sunt de amplitudine mai mare, însă sunt rejectate foarte rapid.

În cadrul activității 2.6 a fost abordat un algoritm de control optimal de tip extremum seeking pentru cele două entități ale instalației de tip biorafinărie. În ambele cazuri au fost definiți indicii de performanță (pentru digesterul anaerob au fost tratate trei situații cu indici de performanță diferiți: 1. cantitatea de metan produsă în digester, 2. nivelul de poluanți la ieșirea digesterului și 3. un indice agregat), (pentru fotobioreactor s-a adoptat un indice de performanță care ține cont de productivitate și de costul consumului de energie electrică). Algoritmul funcționează corect, adică prinde întotdeauna punctul de maxim al criteriului de performanță, dar cu dezavantajul major că timpul de căutare este destul de mare, ceea ce îl face inadecvat pentru un control aplicat on-line pe instalația fizică. În consecință, s-au dezvoltat proceduri prin care controlul extremal al fotobioreactorului se realizează indirect, prin transformarea căutării extremale într-o problemă de stabilizare la o referință optimală. Controlul optimal al întregului proces se realizează prin reglarea biomasei la o referință optimală, utilizând diluția ca mărime de comandă. Au fost stabilite două variante de obținere a regimului optimal al fotobioreactorului.

Rezultatele obținute în această etapă a proiectului au fost diseminate în 10 lucrări științifice, publicate în proceedings-urile unor conferințe indexate în baze de date internaționale (IEEE xplore, Scopus).

Capitolul 1: Activitatea 2.1 - Stabilirea structurii funcționale a instalației de tip biorafinărie pe baza conceptului HILS

Instalația de tip biorafinărie propusă în prezentul proiect constă în două subsisteme interconectate, și anume un digester anaerob și un fotobioreactor, obiectivul global fiind analiza experimentală și creșterea eficienței prin automatizare a acesteia.

Diagrama flux adoptată pentru instalația de biorafinărie este prezentată în Fig. 1.1 unde se pot observa conexiunile dintre cele două subsisteme atât prin fluxuri difuzive cât și prin fluxuri convective.

Digestoarele anaerobe (2) sunt reactoare închise în care au loc simultan procese de hidroliză, acidogeneză și metanogeneză. Astfel, particulele organice prezente în influent (1) sunt transformate în compuși solubili care sunt apoi hidrolizați la monomeri simpli. Influenții digesterelor anaerobe pot fi atât deșeurii lichide (apă uzată, dejecții lichide etc.), cât și solide (resturi organice biodegradabile). Monomerii rezultați în urma procesului de hidroliză (e.g. acizii grași, monozaharidele, aminoacizii, purinele, pirimidinele, compușii aromatici simpli) sunt utilizați ulterior de către diverse clase de bacterii, în principal facultativ anaerobe, în procesele de fermentație (i.e. acidogeneză). Fermentația compușilor organici cu moleculă mică duce la obținerea unor produși precum acidul propionic, acidul butiric, acidul succinic, acidul lactic, etanolul etc. Substanțele organice servesc, în astfel de situații, atât ca donori de electroni, cât și ca acceptori de electroni. Acizii organici și alcoolii obținuți sunt fermentați în continuare la acid acetic ($\text{CH}_3\text{-COOH}$), hidrogen (H_2) și dioxid de carbon (CO_2),

compenți care sunt precursori pentru producția de metan (CH₄). Metanogeneza este realizată de două grupuri de microorganisme metanogene (arhee). Un grup de metanogene disociază acidul acetic în metan și CO₂ (metanogeneaceticlastice – reacția 1), iar cel de-al doilea grup utilizează hidrogenul drept donator de electroni și de CO₂ ca acceptor de electroni, ducând la producția de metan (metanogene care utilizează hidrogenul – reacția 2).

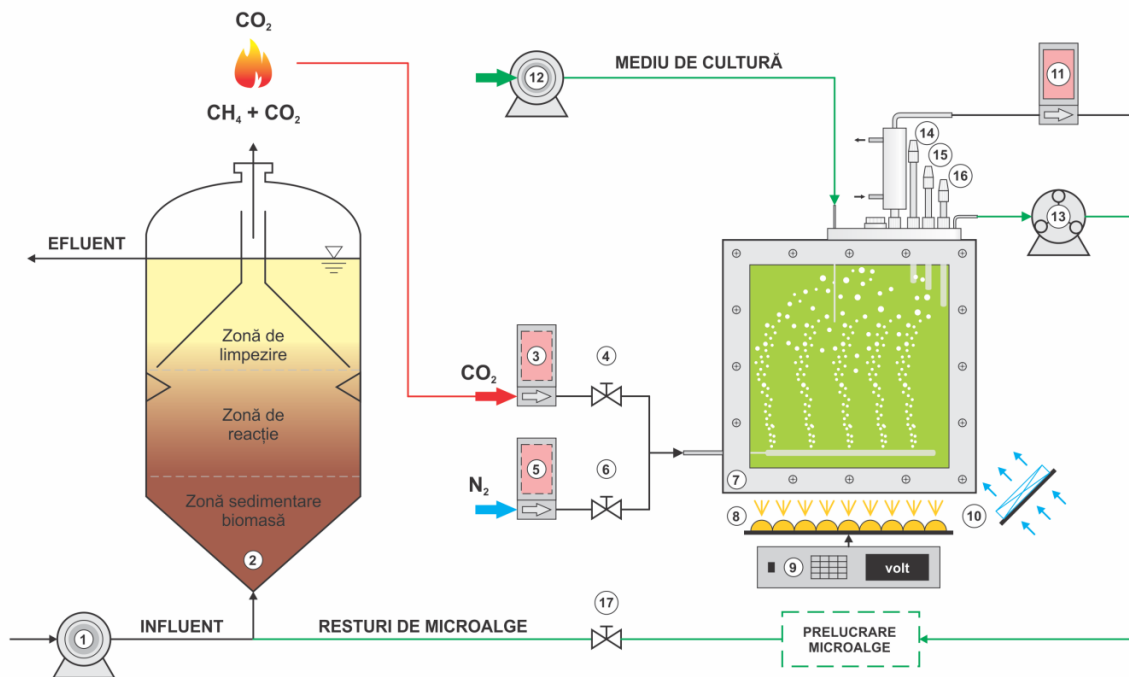


Fig. 1.1 Diagrama flux a instalației de tip biorafinării. 1. Pompă alimentare digester [mL·min⁻¹], 2. Digester anaerob, 3. Debitmetru CO₂ [mL_n·min⁻¹], 4. Valvă continuă CO₂ [%], 5. Debitmetru N₂ [mL_n·min⁻¹], 6. Valvă continuă N₂ [%], 7. Fotobioreactor, 8. Panou cu leduri [μmol·m⁻²·s⁻¹], 9. Sursă alimentare panou leduri [Volt], 10. Ventilator răcire [ON/OFF], 11. Debitmetru gaz ieșire [mL_n·min⁻¹], 12. Pompă alimentare mediu cultură [mL·min⁻¹], 13. Pompă evacuare cultură microalge [ON/OFF], 14. Senzor turbiditate [NTU], 15. Senzor pH + temperatura [unități pH] [°C], 16. Senzor oxigen/potențial redox [mg·L⁻¹], 17. Valvă resturi microalge [ON/OFF].



Digesterul anaerob este alimentat cu un influent cu o compoziție cunoscută (concentrații de biomasă, substrat, azot, fosfor etc.) care provine dintr-o rețea municipală sau de la un operator industrial și poate fi operat individual. În urma procesului de digestie anaerobă va rezulta un efluent care va fi deversat către o rețea de canalizare, dacă respectă normele de calitate impuse de lege, sau către o altă treaptă de epurare specifică proceselor de tratare a apelor uzate (e.g. oxidarea biologică aerobă).

Astfel, pe lângă degradarea deșeurilor organice lichide sau solide, obiectivul digestoarelor anaerobe este producerea de biogaz, din care max. 70% este gaz metan – CH₄ și restul dioxid de carbon – CO₂.

Biogazul astfel obținut este un valoros vector energetic care, de cele mai multe ori, este utilizat în instalații termoenergetice cu cogenerare care produc energie electrică și căldură. La arderea biogazului sunt emise cantități considerabile de CO₂, un gaz cunoscut ca având efect de seră. Mitigația CO₂ din

emisia este o preocupare actuală a multor grupuri de cercetare din întreaga lume, atenția fiind îndreptată din ce în ce mai mult către reducerea CO₂ pe cale biologică.

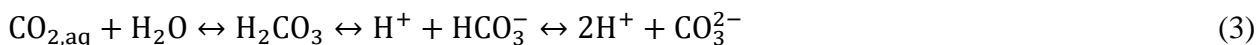
Bio-mitigația CO₂ cu ajutorul microalgelor, microorganisme fotosintetice care utilizează carbonul anorganic ca sursă de carbon (substrat), se poate realiza prin barbotarea gazelor arse în culturile autotrofe (flux difuziv). Creșterea microalgelor în sisteme controlate se realizează în instalații dedicate (i.e. fotobioreactoare) care pot fi deschise sau închise (7), iluminate cu lumină solară sau cu lumină artificială.

Multe specii de microalge sunt surse cunoscute de lipide (din care se produce biodieselul), dar și de alți compuși cu valoare adăugată precum pigmentii, acizii grași polinesaturați cu catenă lungă, policarbohidrați, vitamine etc. Creșterea microalgelor în fotobioreactor are astfel un dublu scop, reducerea CO₂ din emisii și producerea de compuși cu valoare adăugată. În afară de procesul de bio-mitigație a CO₂, microalgele sunt studiate pentru necesitățile lor metabolice reduse în procese de mediu precum tratarea apelor uzate sau biosorbția metalelor grele, dar și în aplicații precum producerea de biohidrogen sau bioetanol.

Astfel, un fotobioreactor operat în regim continuu trebuie alimentat cu un flux convectiv (12) care să conțină celelalte nutrimente necesare creșterii (azot, fosfor etc), de cele mai multe ori de natură anorganică. Fluxul convectiv are deci o concentrație cunoscută de nutrimente, în timp ce concentrațiile de biomasă și carbon sunt nule. Există totuși situații (de obicei aplicații de laborator) în care fluxul convectiv de intrare este îmbogățit cu CO₂ sau cu diverși carbonați.

Dioxidul de carbon care se barbotează în fotobioreactor (3, 4) poate fi pur (situație întâlnită în aplicațiile de laborator unde debitele de CO₂ sunt mici) sau în amestec cu azot sau aer. Gazele arse sunt în esență amestecuri de CO₂, N₂ și cantități mici de O₂, pe când amestecul cu aer este realizat în scopul amestecării culturii de microalge (reactoare de tip air-lift). În Fig. 1.1 sunt reprezentate intrări separate pentru CO₂ (5, 6) și N₂ deoarece aplicația este una de laborator în care se vor utiliza gaze pure.

CO₂ barbotat în fotobioreactor are și rolul de reglare a pH-ului în afară de rolul său de sursă de carbon. Astfel, la barbotarea CO₂ în cultura de microalge se vor forma o serie de specii chimice precum dioxidul de carbon dizolvat, CO_{2, aq}, acidul carbonic, H₂CO₃, bicarbonatul, HCO₃⁻ și carbonatul, CO₃²⁻, care, însumate, dau valoarea carbonului anorganic total. Speciile ionice reprezintă surse potențiale de dioxid de carbon dizolvat, CO_{2, aq}, care rezultă prin interconversie printr-o serie de reacții precum hidratare, deshidratare și protonare. În mediu lichid dioxidul de carbon va forma o serie de echilibre dinamice, așa cum se poate observa în reacția (3).



Atunci când microalgele consumă CO₂ echilibrul (3) se deplasează către stânga, iar pH-ul crește. Pentru a menține deci o valoare optimă a pH-ului trebuie adăugată o cantitate de CO₂ în fotobioreactor.

Rezultă că procesul de creștere fotosintetică a microalgelor este multivariabil în mod natural, identificându-se mai multe intrări de comandă precum debitul de alimentare cu nutrimente (flux convectiv – 12) și debitul de alimentare cu dioxid de carbon (flux difuziv – 3, 4).

Absorbția CO₂ ca sursă majoră de carbon într-un proces fotosintetic duce la generarea de O₂ ca reziduu în urma reacției de oxidarea apei indusă de lumină ca sursă de energie:



Se deduce astfel că rata de absorbție a CO₂ depinde de energia produsă în reacția de oxidarea a apei, și, deci, viteza de creștere fotosintetică a microalgelor va depinde de cantitatea de lumină din interiorul culturii. Lumina (8,9) este deci o a treia intrare (flux) de comandă în proces, care, împreună cu concentrația disponibilă de nutrienți, controlează ratele procesului.

Fotobioreactorul (7) ales pentru această aplicație este unul de tip rectangular, iluminat pe o singură parte. Adâncimea mică a reactorului (5 cm) permite luminii să pătrundă în interiorul culturii pentru a atinge viteze maxime de creștere. Lumina produce și creșterea temperaturii din fotobioreactor și de aceea s-a ales răcirea cu ajutorul unui grup de ventilatoare (10) acționate bipozițional, montat între sursa de lumină (8) și fotobioreactor (7). Atunci când fotobioreactoarele sunt iluminate cu lumină solară această intrare este o perturbare, răcirea acestora fiind imposibilă.

Pentru monitorizarea și controlul fotobioreactorului acesta a fost prevăzut cu

- traductor de turbiditate (14) pentru monitorizarea și controlul concentrației de biomasă care poate fi corelată liniar cu semnalul de turbiditate,
- traductor de pH și temperatură (15), pentru raționalizarea debitului de CO₂ barbotat în reactor și pentru acționarea grupului de ventilatoare,
- traductor de oxigen (16) pentru monitorizarea O₂ produs în urma procesului de fotosinteză.

La operarea în regim continuu a fotobioreactorului va rezulta un flux de ieșire care va avea aceleași proprietăți cu ale culturii din interiorul său. Integrarea acestui flux duce la determinarea productivității fotobioreactorului. Prelucrarea culturii de microalge rezultate din procesul continuu de creștere fotosintetică presupune separarea celulelor de mediul de cultură epuizat, acesta putând fi deversat către o rețea de canalizare dacă respectă normele de calitate impuse de lege sau întors în digesterul anaerob (sau altă componentă a instalației de tratare biologică a apei uzate) dacă se constată că prezintă o concentrație ridicată de substanțe organice.

Cantitatea de biomasă produsă este, deci, cunoscută deoarece a putut fi măsurată cu ajutorul traductorului de turbiditate. Celulele de microalge astfel separate de mediul epuizat sunt procesate pentru extragerea compușilor cu valoare adăugată. Această cantitate de biomasă constă în ~30% compuși cu valoare adăugată și ~70% resturi de biomasă.

Resturile de biomasă reprezintă un deșeu organic care trebuie gestionat separat. Ele pot reprezenta un adaos de substrat pentru digesterul anaerob în vederea producerii de biogaz. Deoarece concentrația de substrat este exprimată în mod uzual în unități CCO (consum chimic de oxigen), s-a dedus pe baza unei ecuații stoichiometrice pentru microalga *Chlamydomonas reinhardtii* că 1 g de biomasă din microalge reprezintă 1.434 g CCO. Se poate deduce că resturile de biomasă de la procesarea microalgelor poate reprezenta un bun substrat pentru mărirea cantității de biogaz produse de digesterul anaerob. În Fig. 1.2 este prezentată structura funcțională (diagrama fluxurilor) pentru instalația de tip biorafinărie.

Astfel, instalația de tip biorafinărie, formată din cuplajul între un digester anaerob și un fotobioreactor, poate îndeplini următoarele funcții:

- Obținerea de biomasă din microalge în vederea producerii de compuși cu valoare adăugată,
- Bio-mitigația CO₂ rezultat la arderea biogazului și utilizarea sa ca substrat pentru procesul de creștere fotosintetică a microalgelor,
- Utilizarea resturilor de biomasă provenite din extracția compușilor cu valoare adăugată din microalge ca substrat pentru producerea de biogaz în treapta anaerobă,

- Producția de biogaz din deșuri organice lichide sau solide.

Deoarece bugetul proiectului nu permite și achiziția unui digester anaerob, ci doar a unui fotobioreactor, a fost adoptată următoarea structură conceptuală a instalației de tip biorafinărie (Fig. 1.2).

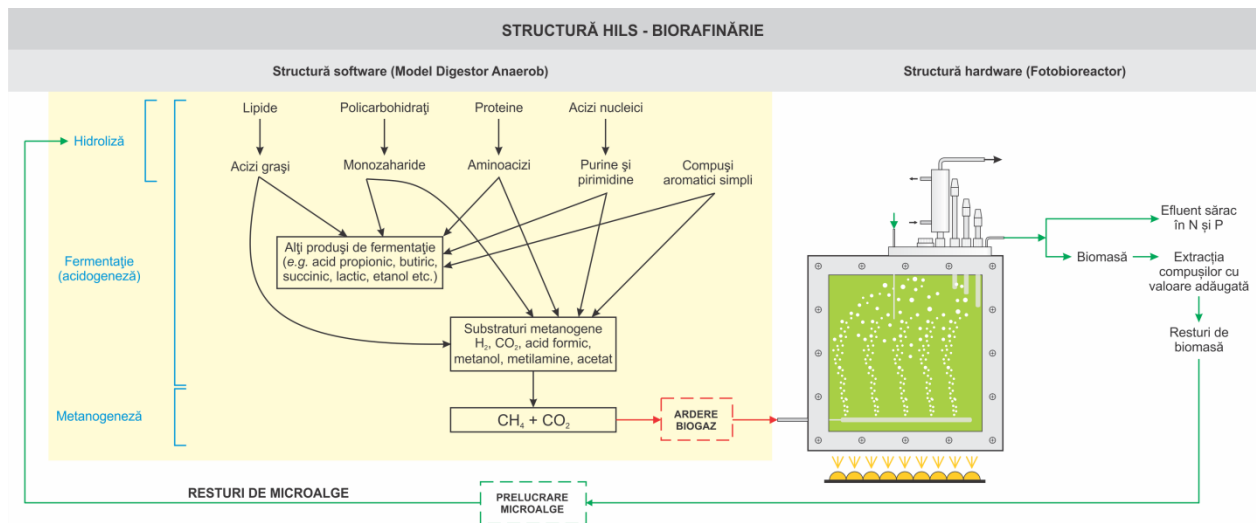


Fig. 1.2 Diagrama flux (structura funcțională) adoptată pentru instalația de tip biorafinărie

Această structură se bazează pe conceptul modern de structură HILS (Hardware in the Loop Simulation) care înseamnă cuplarea unei structuri experimentale (fotobioreactorul pentru creșterea fotosintetică a microalgeilor) și o structură software (digesterul anaerob). Această structură HIL se comportă similar cu instalația experimentală de tip biorafinărie. Această soluție nu creează nici un impediment în derularea proiectului și obținerea de rezultate inovatoare. De altfel, modelele proceselor de digestie anaerobă au ajuns la o anumită maturitate, care ne permite utilizarea lor, în versiuni îmbunătățite, ca „benchmark” în cadrul structurii HIL propusă în proiect (Fig. 2.1).

Capitolul 2: Activitățile 2.2 - Proiectarea fotobioreactorului pentru creșterea fotosintetică a microalgelor, incluzând echipamentele de câmp necesare (traductoare și elemente de execuție) și 2.3 - Proiectarea și configurarea structurii hardware de conducere a instalației de tip biorafinărie, în conformitate cu structura funcțională adoptată

2.1 Introducere

Cele două activități prezentate în capitolului 3 au ca principal obiectiv realizarea proiectului fotobioreactorului care este componenta hardware a instalației de tip biorafinărie, instalație care, în etapa 3 a proiectului, urmează să fie utilizată pentru realizarea de experimente. Punctul de plecare este structura instalației de tip biorafinărie, compusă din două entități organizate într-o structură HILS: digesterul anaerob (componentă realizată software) și fotobioreactorul pentru creșterea fotoautotrofică a biomasei algale (componentă realizată fizic) - Fig 2.1.

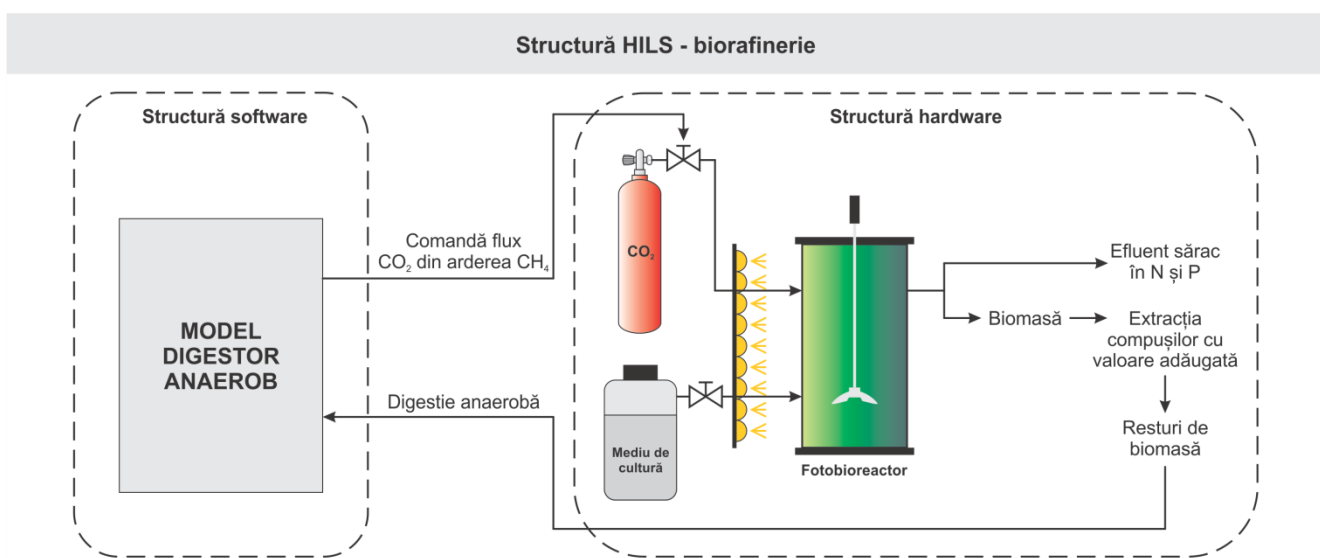


Fig. 2.1 Structura HILS a instalației de tip biorafinărie

Trebuie menționat faptul că cele două activități (2.2 și 2.3) sunt tratate împreună în cadrul capitolului 3, ele fiind într-o strânsă legătură.

2.2 Descrierea fotobioreactorului împreună cu sistemul de control

Un fotobioreactor este în esență un bioreactor în a cărui componentă există o sursă de lumină care asigură energia fonică necesară creșterii fotosintetice. Bioreactorul este un recipient în care are loc o reacție sau o transformare biologică. Bioreactoarele sunt prevzute cu o serie de dispozitive atașate pentru a le îmbunătăți performanțele, a le monitoriza și conduce. În funcție de omogenitatea conținutului lor, bioreactoarele se împart în:

- Reactoare cu amestecare completă: sunt reactoare în care mediul de reacție este omogen, iar microorganismele au acces egal la resursele de hrană. Astfel, vitezele de creștere a biomasei, de consum a substraturilor și de formare a produșilor de reacție sunt uniforme în tot volumul de reacție. Amestecarea mediului de reacție se poate face mecanic (agitator mecanic cu elici și deflectoare) sau pneumatic (sisteme airlift).
- Reactoarele de tip piston sau cu gradient de concentrație: sunt reactoare în care concentrațiile reactanților și produșilor variază continuu de-a lungul unei axe, chiar și atunci când acesta este operat în regim staționar.

În mod uzual, noțiunea de fotobioreactor este asociată unor sisteme închise în care sunt cultivate microorganisme fotosintetice, dar și heleșteiele deschise pot fi considerate, de asemenea, ca fiind fotobioreactoare.

În funcție de natura sursei de lumină, fotobioreactoarele pot fi clasificate în:

- Fotobioreactoare solare – sunt utilizate pentru producția în masă de microalge. Ele beneficiază de lumina solară care este o sursă gratuită de energie, dar au dezavantajul că nu sunt productive decât pe timpul zilei și că sunt sensibile la condițiile atmosferice,
- Fotobioreactoare cu lumină artificială – sunt utilizate pentru producția la scară mică de microalge. Ele depind de o sursă de lumină artificială care poate fi controlată astfel încât să se obțină viteze superioare de creștere, indiferent de condițiile atmosferice și de ciclul zi/noapte.

În funcție de geometria lor, se pot identifica anumite categorii de fotobioreactoare, după cum urmează:

- Fotobioreactoare rectangulare (de tip placă) – sunt reactoarele cel mai des întâlnite în aplicațiile de laborator, dar, la ora actuală, și în aplicații pilot. Ele au un raport mare între suprafața iluminată și volum și sunt, de obicei, iluminate pe o singură parte.
- Fotobioreactoare tubulare – sunt întâlnite în aplicații atât de laborator, cât și pilot și industriale. Ele au avantajul că tuburile pot fi destul de lungi și că pot fi înfășurate în jurul unor suporturi pentru a fi mai compacte.
- Fotobioreactoare coloană – sunt reactoare cilindrice care pot fi iluminate de jur împrejur. Ele pot fi montate vertical, dar sunt și destule exemple de coloane înclinate care se găsesc în practică.

Fotobioreactorul de laborator (Fig. 2.2) este proiectat pentru a putea opera în regim continuu și este compus din:

1. Fotobioreactorul propriu-zis
2. Sistemul de monitorizare și de control
 - 2.1. Instrumentație (traductoare și elemente de execuție) – (v. Fig 2.2, pozițiile 1 – 6 și 8 – 14)
 - 2.2. Sistem de interfațare (extensia cu sistemul de conectare) – (v. Fig 2.2, poziția 15)
 - 2.3. Placa de achiziție – (v. Fig 2.2, poziția 16)
 - 2.4. Calculator de proces – (v. Fig 2.2, poziția 17)

Pentru aplicațiile de laborator în care se urmărește validarea unor algoritmi de control, care au ca scop eficientizarea producției de biomasă din microalge, s-a ales un fotobioreactor de tip rectangular, așa cum este ilustrat în Fig. 2.3.

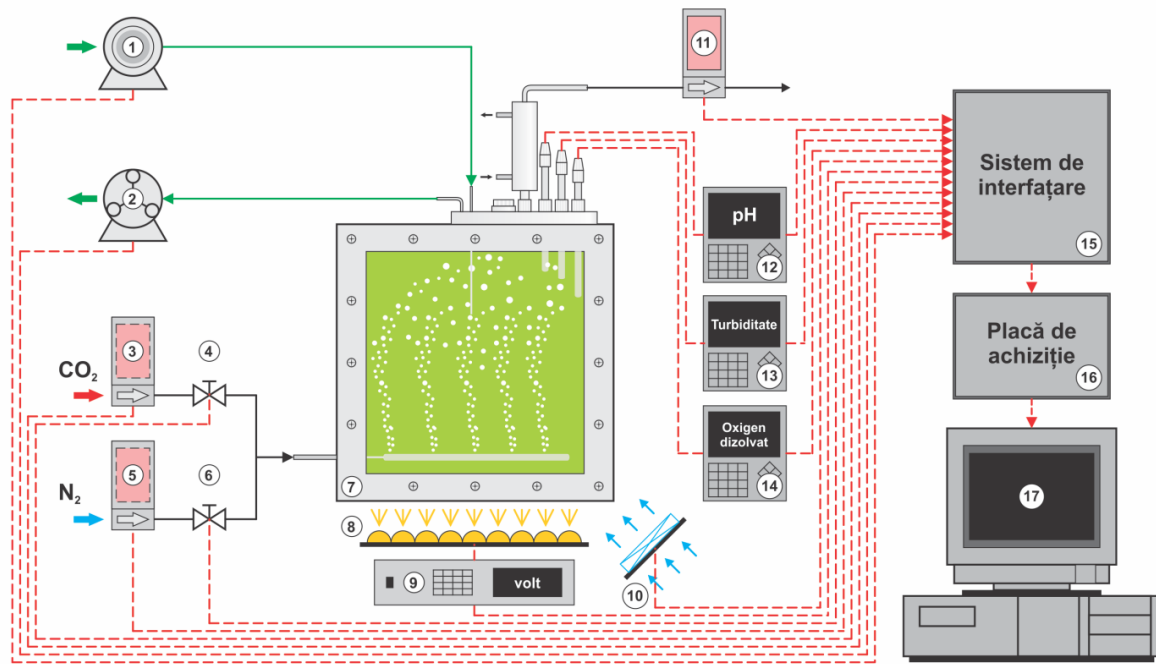


Fig. 2.2 Instalația experimentală pentru monitorizarea și controlul fotobioreactorului: — Traseu transport componente lichide; — Traseu transport componente gazoase; - - - Traseu de transmitere a datelor; 1. Pompa de alimentare cu mediu de cultură; 2. Pompa de evacuare a mediului de reacție din fotobioreactor; 3. Debitmetru CO₂; 4. Valvă cu acționare continuă pentru CO₂; 5. Debitmetru N₂; 6. Valvă cu acționare continuă pentru N₂; 7. Corp fotobioreactor; 8. Panou cu led-uri; 9. Sursă de alimentare pentru panoul cu led-uri; 10. Panou de ventilație; 11. Debitmetru amestec de gaz la ieșirea din fotobioreactor; 12. Traductor pH; 13. Traductor turbiditate; 14. Traductor oxigen dizolvat; 15. Sistem de interfațare; 16. Placă de achiziție; 17. Calculator de proces.

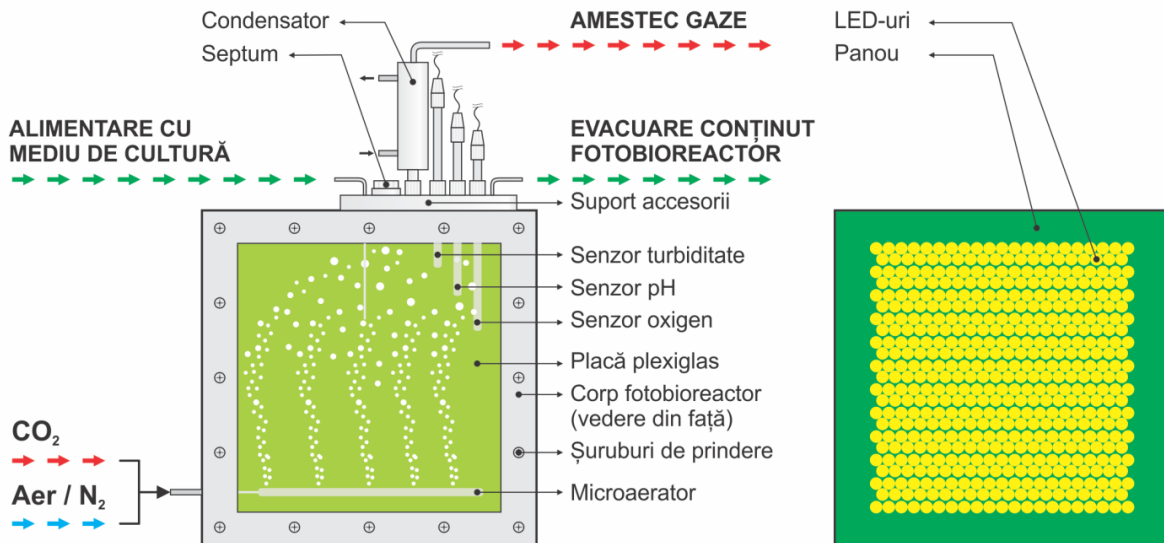


Fig. 2.3 Fotobioreactor rectangular de laborator

Fotobioreactorul are un volum total de 6 litri, cu un volum util de 5 litri și dimensiunile (H – 375 mm x L– 320 mm x A – 50 mm) fiind confecționat din oțel inox 316L. Fețele fotobioreactorului sunt confecționate din plexiglas (material tolerat foarte bine de microorganisme) și sunt fixate cu șuruburi

între corpul propriu-zis al fotobioreactorului și două rame din oțel (una pe fiecare parte a reactorului) poziționate peste plăcile transparente. Adăugarea ramelor din inox peste plăcile transparente din plexiglas previne spargerea acestora la strângerea șuruburilor. Etanșarea se face cu ajutorul unor garnituri din EPDM, rezistente la temperaturi de sterilizare, la uzura fizică și la coroziune, presate între corpul fotobioreactorului și placa transparentă, dispuse de jur împrejurul ariei iluminate. Iluminarea fotobioreactorului se face pe o singură parte, lăsând spatele transparent pentru măsurarea iradianței reziduale. Spatele transparent se poate acoperi cu un material care să reflecte lumina (e.g. folie din aluminiu) pentru a reduce pierderile de energie cu lumina, dar poate rămâne și neacoperit pentru măsurarea continuă a iradianței în spatele reactorului. În partea superioară a fotobioreactorului este montată o placă pentru accesorii prevăzută cu 5 orificii M18 și 5 - M8. Între placă și corpul fotobioreactorului este montată o garnitură de etanșare confecționată din EPDM. Cele 5 orificii mari sunt necesare următoarelor accesorii:

- Senzor de pH,
- Senzor de turbiditate,
- Senzor de oxigen dizolvat,
- Septum pentru prelevarea probelor cu ajutorul unei seringi sterile,
- Condensator pentru prevenirea evaporării mediului de reacție din fotobioreactor.

În celelalte 5 orificii sunt montate ștuțuri pentru:

- Alimentarea cu mediu de cultură proaspăt,
- Evacuarea mediului de reacție din fotobioreactor (pentru operarea în regim continuu),
- Conectarea sistemului de aerare,
- Prelevarea de probe atunci când nu se poate folosi septumul din cauza nivelului scăzut din reactor,
- Adiția de alte substanțe (e.g. agenți de reglare a pH-ului) sau pentru recirculare dacă este cazul.

În cazul în care nu sunt necesare toate accesoriile în același timp, orificiile sunt acoperite cu blinduri. Omogenizarea mediului de reacție se face cu ajutorul gazului barbotat în reactor (airlift) și de aceea fotobioreactorul este prevăzut cu un microaerator. Acesta este conectat la o sursă de CO₂, care este folosită pentru reglarea pH-ului, și la o sursă de N₂. Azotul este un gaz inert și nu participă la nici o reacție biologică și de aceea este folosit pentru efectul de airlift. În anumite aplicații, acest efect se obține prin barbotarea de aer instrumental în reactor. Este necesară montarea unor filtre de aer sterile la intrarea în fotobioreactor și de adăugare a unor clapete de sens unic pentru a nu perturba debitmetrele care măsoară cantitatea de gaz introdusă în reactor. Fotobioreactorul poate fi sterilizat „*in place*” cu ajutorul unui generator de aburi.

În continuare, pentru proiectare, au fost avute în vedere următoarele elemente ale echipamentului:

1. Corpului fotobioreactorului și sistemul suport
2. Alegerea traductoarelor și a elementelor de execuție (fișe tehnice)
3. Proiectarea sistemului de iluminare artificială a fotobioreactorului
4. Proiectarea sistemului de răcire
5. Alegerea echipamentului de calcul și a sistemului de interfață.

2.3 Proiectarea corpului fotobioreactorului

1. Date de proiectare

Bioreactorul, în formă de prismă dreptunghiulară, are un volum total de 6 litri: $V = 320 \times 375 \times 50 \text{ mm}^3$. Volumul util, asigurat prin proiectare, este de circa 5 litri. Bioreactorul trebuie să permită, prin construcție, expunerea biomasei la fluxul luminos asigurat de panoul cu LED-uri, pe o suprafață cât mai mare și pe o adâncime de maxim 50 mm.

2. Descrierea constructiv-funcțională

Soluția constructivă a bioreactorului trebuie să asigure montarea următoarelor accesorii: septum, condensator și senzorii de turbiditate, de pH și de oxigen. Această cerință este rezolvată prin forma constructivă a plăcii superioare, prelucrată din oțel inoxidabil, unde sunt prevăzute 10 orificii în care sunt montate 5 reducții, sonda pentru microaerator, plus alte orificii pentru dezvoltări ulterioare. Bioreactorul este format dintr-un corp susținut de un suport fix montat pe un cadru compus din profile de aluminiu. Panoul cu LED-uri este fixat pe un suport care poate glisa de-a lungul cadrului suport din aluminiu, în vederea poziționării față de suprafața frontală a bioreactorului, pe o cursă cuprinsă între 50 și 200 mm. Barbotarea biomasei este asigurată de un microaerator alimentat printr-o sondă fixată în placa superioară. Bioreactorul poate fi golit prin deșurubarea dopului de la ștutul de evacuare. Corpul bioreactorului, prelucrat din tablă de oțel inoxidabil, este fixat pe cadrul suport prin două șuruburi M8. După poziționarea corespunzătoare față de bioreactor, panoul cu LED-uri este fixat pe cadrul suport din aluminiu, cu ajutorul a două șuruburi M8. Pereții frontali ai bioreactorului sunt proiectați sub forma unor ferestre cu plăci din acril transparent (plexiglas). Plăcile din acril transparent sunt prinse de corpul bioreactorului prin intermediul unor rame din oțel inoxidabil. Etanșarea este realizată cu ajutorul a două garnituri din cauciuc, cu secțiune circulară ($\varnothing 3$), prin strângere cu ajutorul unor șuruburi M6.

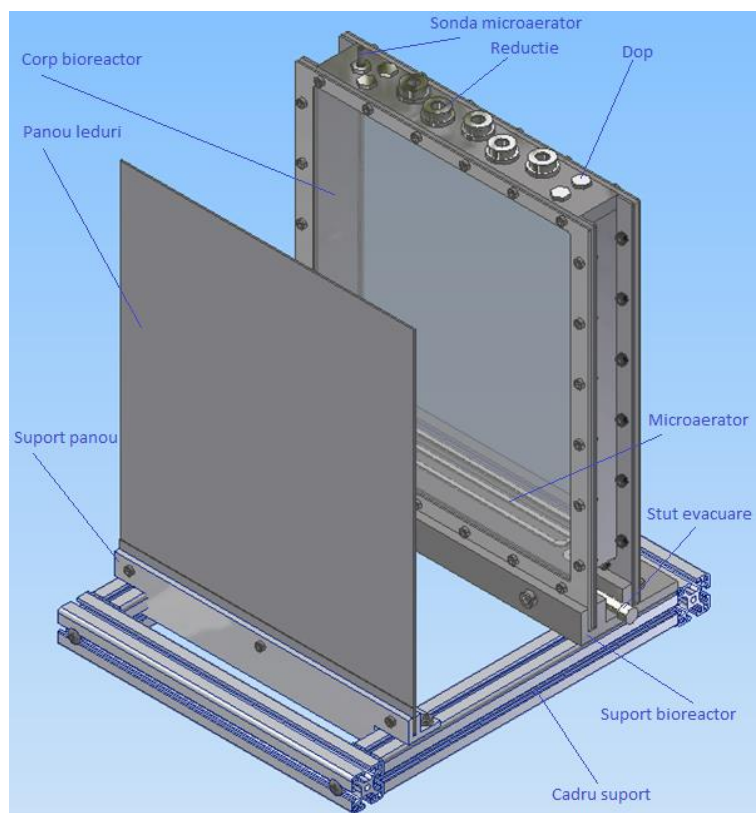


Fig. 2.4 Părțile componente ale fotobioreactorului

3. Privire generală asupra modelului 3D

Părțile componente ale ansamblului fotobioreactor, cu excepția accesoriilor, sunt prezentate în Fig. 2.4, unde se pot observa subansamblurile: corp fotobioreactor, panoul cu LED-uri și cadrul suport. Corpul propriu-zis (Fig. 2.5), rama interioară (Fig. 2.6) și placa superioară (Fig. 2.7) sunt sudate, formând structura metalică a subansamblului corp (Fig. 2.8). Placa de acril transparent (plexiglas) este dreptunghiulară, cu dimensiunile $364 \times 432 \text{ mm}^2$ (Fig. 2.9). Etanșarea bioreactorului este asigurată printr-un pachet format din rama interioară, garnitura cu secțiune circulară, placa de acril transparent și rama exterioră. Pachetul de etanșare este prestrâns cu un număr de 42 de șuruburi $M6 \times 16$ (DIN 6912) și 36 piulițe $M6 \times 10$ (DIN EN 24034). Subansamblul corp bioreactor, format din corpul propriu-zis și pachetul de etanșare este prezentat în Fig. 2.10. Poziționarea verticală a bioreactorului și asigurarea stabilității acestuia, dată fiind forma constructivă, este asigurată printr-un suport prezentat în Fig. 2.11. Panoul cu LED-uri este poziționat pe cadrul suport cu ajutorul unui element intermediar, suport panou (Fig. 2.12), care poate glisa pe cadrul suport din aluminiu, asigurând astfel reglarea distanței dintre suprafața frontală a panoului cu LED-uri și placa din acril transparent a bioreactorului.

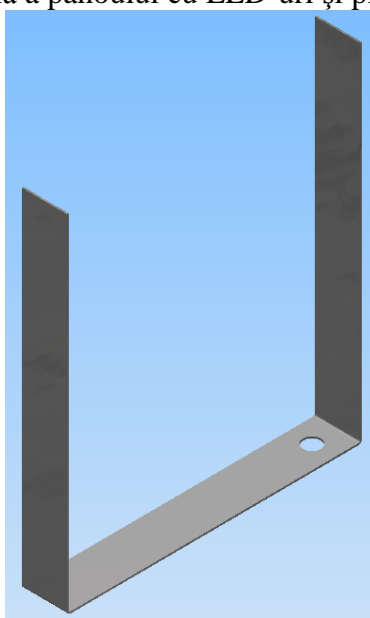


Fig. 2.5. Corpul propriu-zis

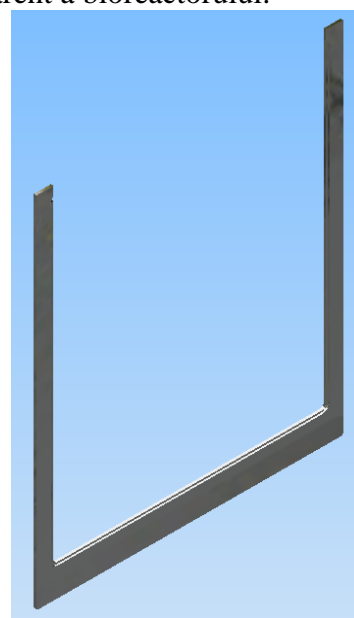


Fig. 2.6. Rama interioară

4. Modelarea corpului reactorului

Corpul fotobioreactorului este confecționat din piese din tablă de oțel inoxidabil și cuprinde următoarele componente: corpul propriu-zis (Fig. 2.5), rama interioară (Fig. 2.6) și placa superioară (fig. 3.2.4). Corpul propriu-zis este din tablă de oțel inoxidabil cu grosimea de 2 mm grosime, rama interioară este din tablă de 3 mm, solidarizată de corp prin sudare în argon. Placa superioară este, de asemenea, sudată pe corpul propriu-zis. Rama interioară și placa superioară, sunt prevăzute cu un canal lat de 3 mm și adânc de 2 mm, în care se montează garnitura de etanșare. Placa superioară are pe ambele laturi câte 6 găuri filetate $M6$, pentru prinderea pachetului de etanșare, și pe suprafața superioară cinci găuri filetate $M18 \times 1,5$ și cinci găuri filetate $M12 \times 1$. Pe suprafața frontală și pe cea din spate a plăcii superioare, sunt prelucrate două canale dreptunghiulare, cu dimensiunile $3 \times 2 \text{ mm}$. În partea inferioară a corpului propriu-zis, este prelucrată o gaură de diametru $\varnothing 20$, în care este introdusă partea superioară a ștuțului de evacuare. Ștuțul de evacuare este asamblat nedemontabil pe partea inferioară a corpului propriu-zis, prin sudare în argon. Etanșarea evacuării se face cu ajutorul unui capac înfundat, filetat, și o garnitură din cauciuc. Evacuarea biomasei se realizează prin deșurubarea capacului filetat.

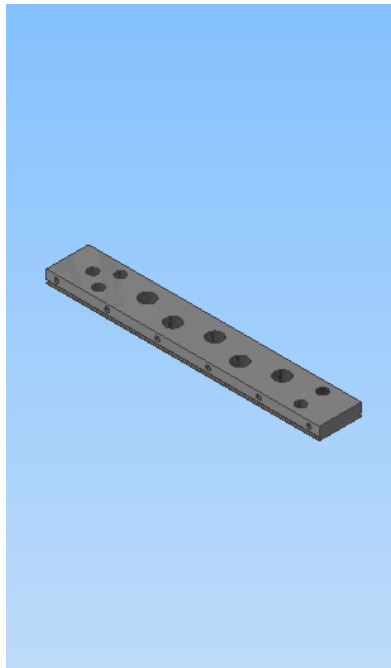


Fig. 2.7 Placa superioară

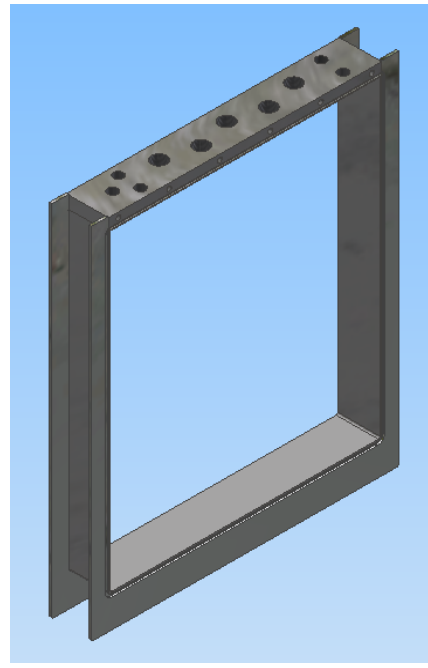


Fig. 2.8 Corpul propriu-zis, rama interioară și placa superioară

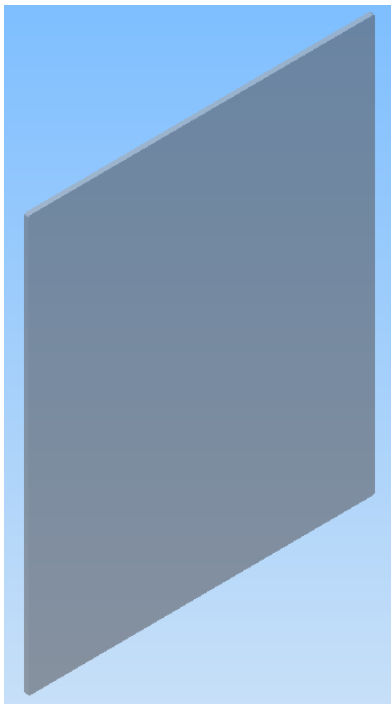


Fig. 2.9 Placa de acril transparent (plexiglas)

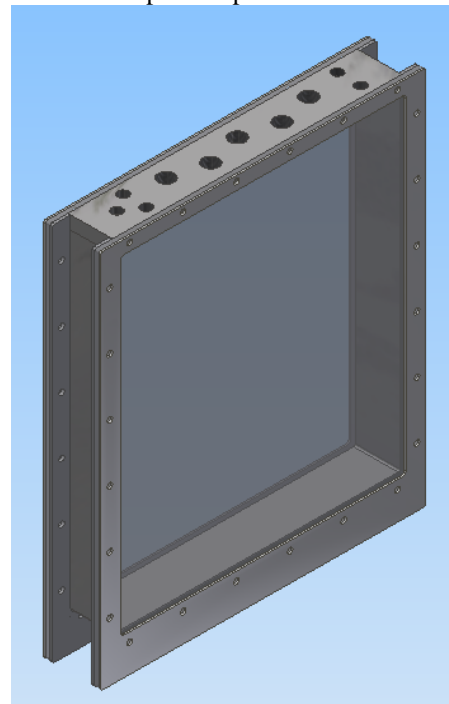


Fig. 2.10 Subansamblul corp bioreactor

5. Modelarea suportului bioreactorului

Corpul bioreactorului este montat pe cadrul suport prin piesa de legătură, suport bioreactor (Fig. 2.5), care este fixată cu două șuruburi M8 pe cadrul suport din aluminiu. Suportul bioreactorului are un canal transversal de 10 mm grosime în care se poziționează pachetul de etanșare care se fixează cu ajutorul celor două șuruburi M8. Pe latura din dreapta a suportului este prelucrat un canal paralelipipedic, de dimensiuni $20 \times 25 \times 84$, care permite plasarea ștuțului de evacuare. Dimensiunile transversale ale suportului, 120×35 , asigură un montaj robust al corpului bioreactorului.

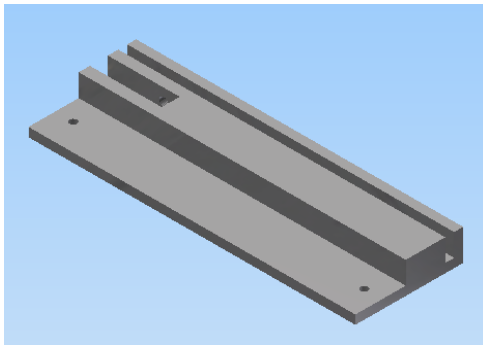


Fig. 2.11 Suportul bioreactorului

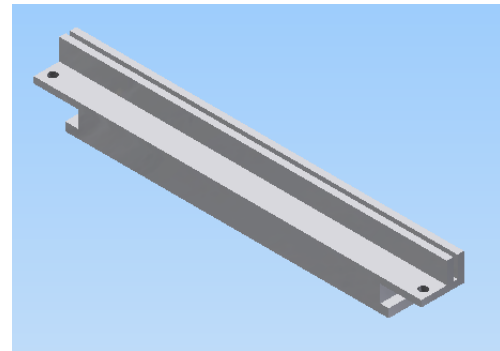


Fig. 2.12 Suportul panoului cu LED-uri

6. Modelarea suportului de susținere a lămpii

Panoul cu LED-uri în poziție verticală, este fixat cu ajutorul unei piese de legătură (suport) care prin construcție permite glisarea lămpii pe cadrul din profile (Fig. 2.12).

7. Modelarea cadrului suport al ansamblului fotobioreactor

Subansamblele care compun ansamblul fotobioreactor sunt poziționate și fixate pe un cadru suport format din patru bare profilate din aluminiu, cu secțiunea din Fig. 2.13. Cadrul suport este confecționat din 4 bare profilate din aluminiu cu dimensiunile $364 \times 40 \times 40$ mm³, conform specificațiilor din ref. ITM 02633 (http://www.aluminium-profile.co.uk/acatalog/8mm_Slot_ITM_Profile.html). Cele patru bare profilate sunt solidarizate prin patru șuruburi M8×50 și formează cadrul suport cu dimensiunile 364×444 (Fig. 2.14). Asamblarea profilelor din aluminiu și fixarea bioreactorului pe cadrul suport, cu ajutorul șuruburilor, sunt prezentate în detaliu, în Fig. 2.15.

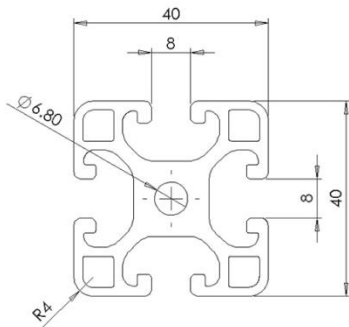


Fig. 2.13 Secțiunea și profilul din aluminiu

(http://www.aluminium-profile.co.uk/acatalog/8mm_Slot_ITM_Profile.html)

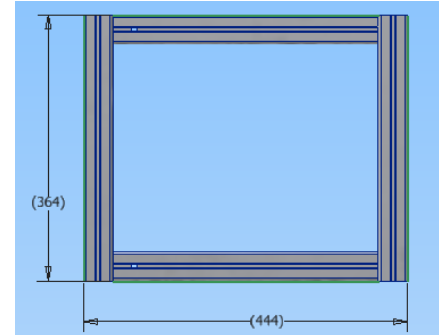
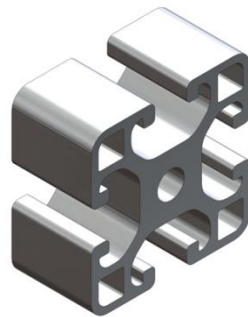


Fig. 2.14 Cadrul suport din profile de aluminiu

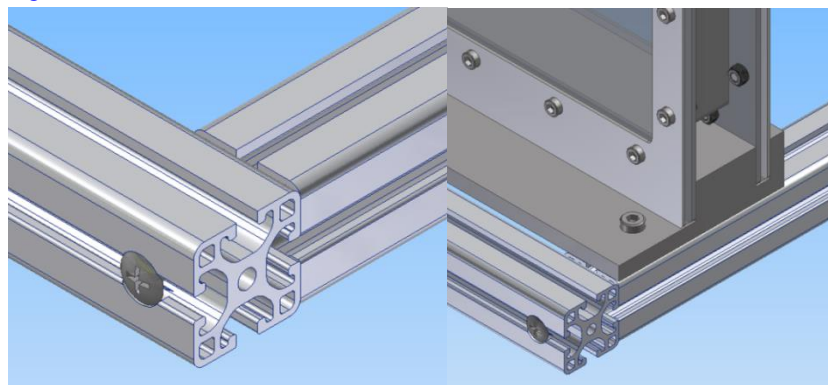


Fig. 2.15 Detalii ale cadrului cu profile din aluminiu

Modelarea 3D a ansamblului fotobioreactorului a permis obținerea tuturor proiecțiilor necesare, a desenului de ansamblu și, în perspectivă, a desenelor de execuție. Fig. 2.16 ilustrează proiecțiile frontală și laterală, iar Figura 2.17, desenul de ansamblu și cotele de gabarit. În Fig. 2.18 este reprezentată o captură a ansamblului expandat al fotobioreactorului.

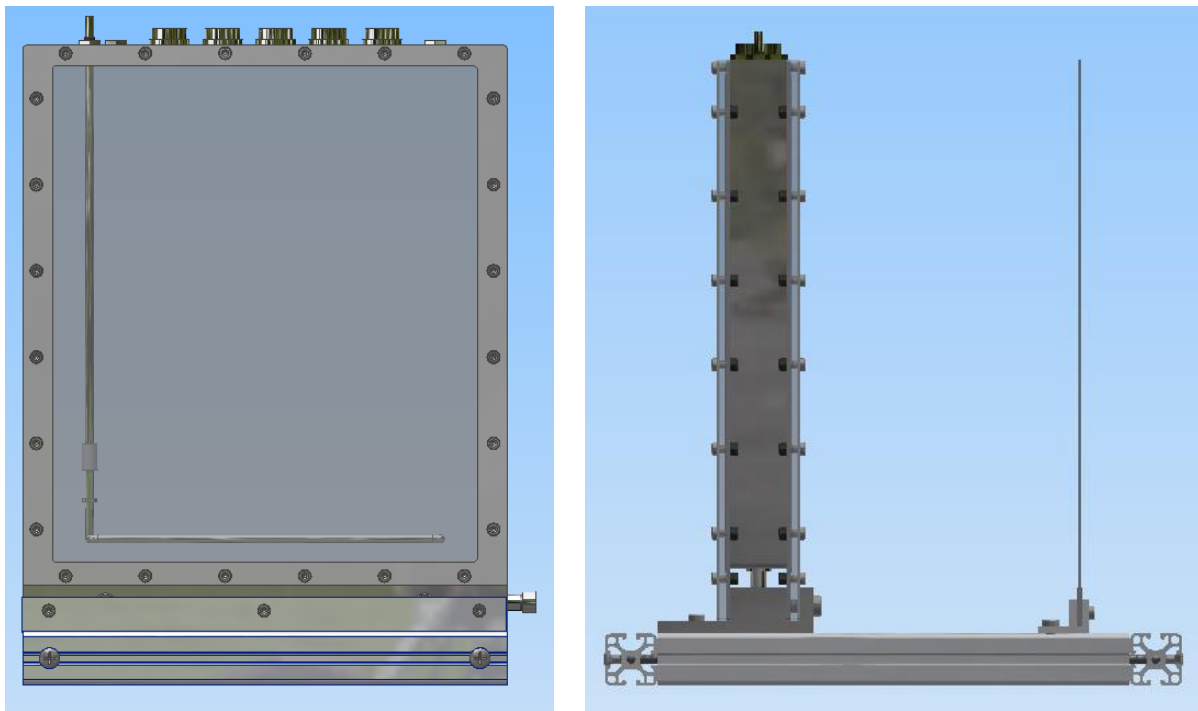


Fig. 2.16 Proiecțiile frontală și laterală ale fotobioreactorului

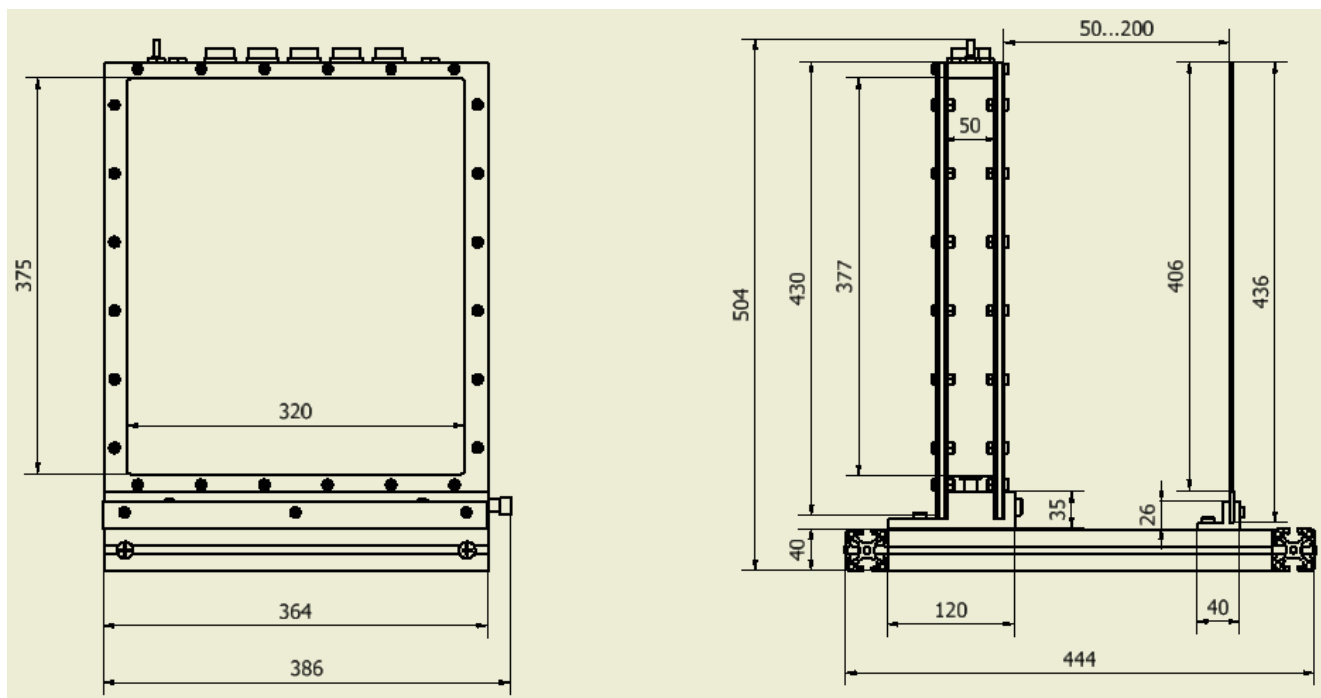


Fig. 2.17 Reprezentarea ansamblului cotate al fotobioreactorului

De asemenea, proiectarea parametrică și adaptivă a ansamblului fotobioreactorului asigură revenirea și operarea unor modificări, elaborarea unor soluții îmbunătățite și optimizarea constructivă. Lista reperelor care compun ansamblul este dată în tabelul 2.1.

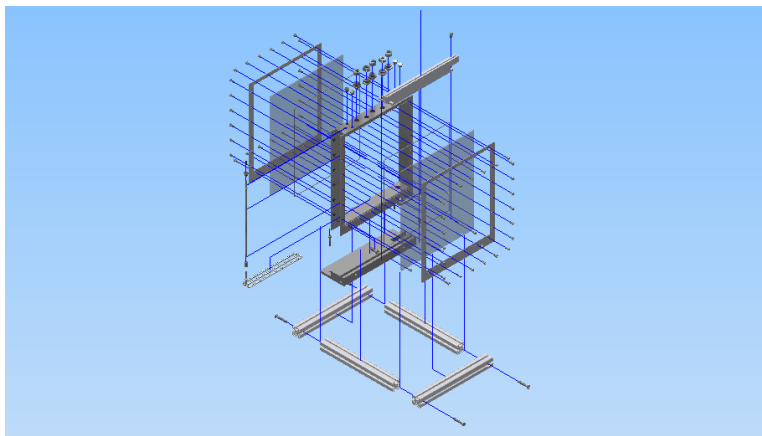


Fig. 2.18 Reprezentarea expandată a fotobioreactorului

Tabelul 2.1. Lista reperelor componente ale fotobioreactorului

Nr. crt.	Nr. buc.	Denumirea reperului	Descriere	Observații
1	1	Corp	Tablă din oțel inox, 2 mm	
2	1	Placă superioară	Oțel inox	
3	2	Ramă interioară	Tablă din oțel inox, 3 mm	
4	2	Placă acril transparentă	Plexiglas, 364 x 432 x 5 mm ³	gros 5 mm
5	2	Ramă exterioară	Tablă din oțel inox, 2 mm	
6	42	Șurub cap hex M6x16	DIN 6912	
7	9	Șurub cap hex M6x10	DIN 6912	
8	36	Piuliță hex M6	DIN EN 24034	
9	1	Presetupă M12x1	Oțel inox	
10	1	Garnitură ø6x2	Cauciuc	
11	1	Garnitură ø6x20	Cauciuc	
12	4	Dop M12x1	Oțel inox	
13	1	Suport	Oțel inox	
14	2	Șurub cap hex M10x30	DIN 6912	
15	1	Cadru suport	Profil aluminiu 4 x ø40 x 364	ITM02633
16	2	Șurub cap hex M8x40	DIN 6912	
17	2	Garnitură ramă	Cauciuc	
18	1	Sondă 1 ø6	Oțel inox	
19	1	Sondă 0 ø6	Oțel inox	
20	1	Bucșă filetata	Oțel inox	
21	1	Difuzor	Oțel inox	
22	1	Suport lampă	Oțel inox	
23	1	Lampă		
24	5	Capac reducție	Oțel inox	
25	5	Reducție	Oțel inox	
26	2	Șurub cap hex M8x12	DIN 6912	
27	1	Ștuț evacuare	Oțel inox	
28	1	Capac ștuț	Oțel inox	
29	1	Garnitură stut	Cauciuc	
30	4	Șurub M8	ISO 7047 (H) M8x50	

2.4 Alegerea traductoarelor și a elementelor de execuție, fișe tehnice

Observație: numerotarea elementelor se referă la Fig. 3.2.

2.4.1 Elemente de execuție

1. Pompe peristaltice

Pentru operarea în regim continuu instalația este prevăzută cu o pompă peristaltică de alimentare cu mediu de cultură (1) și o pompă peristaltică de evacuare a mediului de reacție din fotobioreactor (2). Se propune utilizarea unor pompe peristaltice cu caracteristicile din fișa tehnică 1.

Fișa tehnică 1. Caracteristicile pompelor peristaltice de alimentare și evacuare

Domeniu de reglare	Treapta I	Treapta II	Treapta III	Treapta IV
Viteza de rotație reglabilă	0.4 – 10 rpm	1.6 – 40 rpm	6 – 150 rpm	12 – 300 rpm
Tubulatură din neopren	Exprimat în mL/min			
N 1.6 x 1.6	0.1 – 1.8	0.28 – 7	1.1 – 26	2.1 – 53
N 3.2 x 1.6	0.28 – 7	1.1 – 28	4.2 – 106	8.5 – 212
N 4.8 x 1.6	0.57 – 14	2.3 – 57	8.6 – 214	17 – 428
Specificații de funcționare	Cu funcționare continuă			
Specificații electrice				
Tensiune nominală	24 V DC sau 20 V AC			
Motor	motor pas cu pas, bipolar, unghi 1.8°			
Consum curent	0.8 A			
Consumul maxim de repornire	5 A			
Inductanța la 1 kHz, 1 V	14 mH			
Rezistanța înfășurării	6 Ω			
Clasa de izolație a motorului	B			
Informații generale				
Materialul din care este făcută clema de prindere a furtunului	PVDF			
Greutatea pompei	~ 0.5 kg			

Astfel, în funcție de treapta aleasă și de tipul de furtun, debitul pompei poate varia între 0.1 și 428 mL/min.

Adiția unei cantități precise de CO₂ este asigurată de un ansamblu format dintr-un debitmetru (3) calibrat pentru CO₂ și o valvă cu acțiune continuă (4) pentru CO₂. Pentru această aplicație s-au ales debitmetre masice pentru gaz, capabile să măsoare debitele de gaz, independent de modificările temperaturii și presiunii, prevăzute cu valve cu acțiune continuă. Aceste sisteme, numite de aici înainte regulatoare de debit, constau într-un senzor termic de debit masic, o valvă de precizie pentru control și un microprocesor care asigură controlul PID al debitului. Debitul masic, exprimat în normal mililitri pe minut, este transmis printr-un semnal analogic sau digital via RS232 sau fieldbus. Domeniul de măsură al debitmetrului necesar pentru asigurarea cantității corespunzătoare de CO₂ în fotobioreactor este cuprins între 0 și 20 mL_n/min.

Adiția de N₂ este asigurată de un sistem similar, doar că regulatorul de debit (5 & 6) este calibrat pentru N₂ și poate asigura un debit de până la 100 mL_n/min. Pentru a asigura o măsurătoare corectă este recomandată montarea unor grupuri filtru-regulator-lubrificator cu manometru la ieșirea din buteliile de CO₂ și N₂, sau măcar a unor manometre cu regulator de presiune la ieșirea din butelii.

2. Sistemul de iluminare

Iluminarea reactorului este realizată de un panou cu leduri cu o intensitate luminoasă incidentă de maxim 1500 μmol/m²/s (secțiunea 2.5). Intensitatea luminoasă depinde de tensiunea sursei de alimentare între ele fiind o corelație liniară.

3. Sistemul de răcire

Răcirea feței iluminate a fotobioreactorului este asigurată de un grup de ventilatoare comandat de un regulator bipozițional. Se va utiliza un grup de 1 – 3 ventilatoare de tipul celor folosite la sursele de calculator, poziționate în partea de jos a instalației, între panoul cu led-uri și corpul fotobioreactorului. Curentul de aer format va spăla fața iluminată a fotobioreactorului, răcind led-urile și corpul fotobioreactorului pe fața iluminată.

2.4.2 Traductoare

1. Debitmetre

Măsurarea gazului la ieșirea din reactor este realizată de un sistem (11) identic cu cel pentru azot care poate fi și rezervă în cazul unei defecțiuni ale debitmetrelor de la intrare. Sunt necesare debitmetre cu domenii diferite de măsură, dar cu restul de caracteristici comune, prezentate în fișa tehnică 2.

Fișa tehnică 2. Caracteristicile reglatoarelor de debit pentru CO₂ și N₂ la intrare și pentru amestecul de gaze la evacuare.

Sistemul de măsurare și control	
Precizie	± 0,5% Rd plus ± 0,1% FS
Funcționarea cu mai multe tipuri de gaze	- Poate stoca maxim 8 curbe de calibrare
Repetabilitate	< ± 0,2% Rd
Timp de stabilizare (regulator)	1...2 secunde
Stabilitate control	≤ ± 0,1% FS (pentru 1 l _n /min N ₂)
Domeniu de temperatura	-10...+70°C
Etanșeitate	< 2 x 10 ⁻⁹ mbar l/s He
Timp de încălzire	30 min. pentru precizie maximă 2 min. Pentru precizie de ± 2% FS
Componente mecanice	
Material (părțile care intră în contact cu gazul)	Oțel inox 316L
Garnituri	Viton
Clasa de protecție (carcasa)	IP40
Specificații electrice	
Tensiune de alimentare	+15...24 Vdc ±10%

Consum de energie	alimentare	la tensiune I/O	la curent I/O
	15 V	290 mA	320 mA
	24 V	200 mA	215 mA
Ieșire analogică	0...5(10) Vdc, impedanță de sarcină min. > 2 kΩ; 0(4)...20 mA, impedanță de sarcină max. < 375 Ω		
Referință analogică	0...5 (10) Vdc, impedanță de sarcină min. > 100 kΩ; 0 (4)...20 mA, impedanță de sarcină ~250 Ω		
Comunicare digitală	standard RS232; opțional: PROFIBUS DP, DeviceNet™, EtherCAT®, Modbus RTU/ASCII, FLOW-BUS		

Fotobioreactorul trebuie prevăzut cu următoarele 3 traductoare:

- Traductor de pH și temperatură,
- Traductor de turbiditate,
- Traductor de oxigen dizolvat (opțional).

2. Traductorul de pH

Traductorul de pH este compus dintr-un senzor electrochimic dedicat proceselor biotehnologice și un adaptor. Se recomandă un traductor de pH cu caracteristicile din fișa tehnică 3.

Fișa tehnică 3. Caracteristicile senzorului de pH

Domeniul de pH	0...12
Temperatura	0...100 °C în timpul operării 0...140 °C în timpul sterilizării
Rezistența la presiune	Până la 4 bari
Sistemul de referință	Ag/AgCl
Diafragma	1 diafragma din ceramică
Membrana din sticlă	Sticlă rezistentă la sterilizare
Conector	VarioPin (VP), IP68 Pg cu fir de 13.5
Diametru senzor	12 mm
Lungime senzor	~ 225 mm
Tip senzor temperatură	Pt100

Ansamblul de montare pe placa cu accesorii a fotobioreactorului este specific fiecărui producător în parte. Senzorul de pH are înglobat și un senzor de temperatură de tip Pt100 cu ajutorul căruia poate face și compensarea pH-ului cu temperatura.

3. Traductorul de oxigen dizolvat (opțional)

Senzorul de oxigen este unul cu domeniu larg de utilizare, fiind dedicat industriei farmaceutice, industriei alimentare și aplicațiilor chimice. Caracteristicile principale ale acestui senzor pot fi găsite în fișa tehnică 4.

Fișa tehnică 4. Caracteristicile senzorului de oxigen

Tipul senzorului	polarografic
Domeniu de măsură	6 ppb la saturație
Acuratețe	+/-1 % +6 ppb
Sterilizabil	Da
Materialul în contact cu mediul din reactor	Oțel inox AISI 316L
Timpul de răspuns la 25 °C	90 sec.
Rezistența la presiune	Max. 12 bar

4. Adaptorul pentru senzorii de pH și oxigen dizolvat

Atât semnalul de pH cât și semnalul de temperatură sunt trimise către un adaptor cu 4 canale de intrare, care are rolul de a procesa semnalul specific senzorilor în semnal digital compatibil cu placa de achiziție dSPACE (0 – 5V). Adaptorul este prevăzut cu un display și are funcții pentru calibrarea senzorilor. Acest adaptor primește semnal și de la senzorul de oxigen. Caracteristicile adaptorului sunt prezentate în fișa tehnică 5.

Fișa tehnică 5. Caracteristicile adaptorului pentru pH, temperatură și oxigen dizolvat

Specificații pentru pH	
Parametrii mășurați	pH, temperatură
Domeniu pH	- 2.00 la 16.00 pH
Lungimea maximă a cablului senzorului	ISM: 80 m Analog: 10...20 m în funcție de senzor
Rezoluție pH	Auto / 0.001 / 0.01 / 0.1 / 1 (poate fi selectată)
Precizie pH	ISM: ±1 digit
Domeniu [mV]	-1500 la 1500 mV
Rezoluție [mV]	Auto / 0.001 / 0.01 / 0.1 / 1 (poate fi selectata)
Precizie [mV]	Analog: ±1 mV ISM: ±1 digit
Domeniu de temperatură	-30 la 130 °C
Rezoluție temperatură	Auto / 0.001 / 0.01 / 0.1 / 1 °C (poate fi selectata)
Precizie temperatură	Analog: ± 0.25 K ISM: ±1 digit
Compensarea cu temperatura	Automat și manual
Calibrare	Într-un punct și în două puncte
Specificații pentru oxigenul dizolvat	
Parametrii mășurați	Oxigen dizolvat: saturație sau concentrație și temperatura
Domeniul de curent	0 la – 7000 nA
Rezoluție curent	ISM: ±1 digit Analog: 6 pA
Lungimea maximă a cablului senzorului	ISM: 80 m Analog: 20 m
Domeniu concentrație oxigen dizolvat	0 ppb (μg/L) la 50.00 ppm (mg/L)
Domeniu de saturație oxigen dizolvat	0 la 500 % aer, 0 la 200 % O2

Precizie oxigen dizolvat	±1 digit
Rezoluție	Auto / 0.001 / 0.01 / 0.1 / 1 (poate fi selectată)
Domeniu de temperatură	-30 la 150 °C
Rezoluție temperatură	Auto / 0.001 / 0.01 / 0.1 / 1 °C (poate fi selectată)
Precizie temperatură	± 0.25 K în domeniul -10 +80 °C
Tensiune polarizare	-1000 la 0 mV
Tip senzor de temperatură	NTC 22 kΩ / Pt1000
Compensarea cu temperatura	Automat
Calibrare	Într-un punct
Specificații electrice	
Cerințe privind alimentarea	100 la 240 V AC sau 20 la 30 V DC, 10 W, AWG 16 – 24, 0.2 mm ² la 1.5 mm ²
Frecvența	50 / 60 Hz
Semnale de ieșire analogice	8 ieșiri x 0/4 la 20 mA, alarmă 22 mA, izolată galvanic de intrare și de împământare
Eroarea de măsurare la ieșirea analogică	< ± 0.05 mA la un domeniu de 0 ... 22 mA
Sarcină	max. 500 Ω
Comunicație digitală	Port USB, tip B
Intrări digitale	6 cu limită de comutare 0.00 VDC la 1.00 VDC pentru nivel scăzut, 2.30 VDC to 30.00 VDC pentru nivel ridicat
Intrări analogice	O intrare de 4 ... 20 mA, izolată galvanic de alte semnale
Eroare de măsurare la intrarea analogică	< ± 0.05 mA la un domeniu de 0 ... 22 mA

5. Traductorul de turbiditate

Traductorul de turbiditate este compus dintr-un senzor de turbiditate și adaptorul aferent. Senzorul de turbiditate are diametrul de 12 mm și rezistă la temperaturi de sterilizare. Semnalul acestui senzor este trimis către adaptor și transformat în semnal compatibil cu placa dSPACE. Traductorul de turbiditate este capabil să afișeze valori măsurate în FTU – Formazin Turbidity Units, NTU – Nephelometric Turbidity Units, EBC – European Brewery Convention, ppm – Parts per Million, g/L – Grams per Liter și % - procente. Caracteristicile senzorului de turbiditate sunt prezentate în fișa tehnică 6.

Fișa tehnică 6. Caracteristicile senzorului de turbiditate

Material	Oțel inox 316L
Domeniu de măsură	10...4000 FTU, 0...250g/L
Lungime senzor	~ 200 mm
Diametru senzor	12 mm
Rezistență la presiune	Max. 6 bar
Domeniu de temperatură	-30...130 °C
Lungime cablu senzor	Cablu fibră optică de 3 m
Sterilizabil	Da

Acest tip de senzor de turbiditate poate fi atașat la un adaptor cu proprietăți similare celui prezentat în fișa tehnică 5 cu diferența că are doar un singur canal. Caracteristicile adaptorului pentru senzorul de turbiditate sunt prezentate în fișa tehnică 7.

Fișa tehnică 7. Caracteristicile adaptorului pentru senzorul de turbiditate

Specificații pentru turbiditate	
Sursa de lumină	LED cu lungimea de undă de 880 nm
Domeniul de măsură	10...4000 FTU, 0...250 g/L solide în suspensie
Unitățile de măsură selectabile	FTU, NTU, EBC, g/L, mg/L, %, ppm, DO
Specificații electrice	
Cerințe privind alimentarea	100 la 240 V AC sau 20 la 30 V DC, 10 W, AWG 16 – 24, 0.2 mm ² to 1.5 mm ²
Frecvența	50 / 60 Hz
Semnale de ieșire analogice	8 iesiri x 0/4 la 20 mA, alarmă 22 mA, izolată galvanic de intrare și de împământare
Eroarea de măsură la ieșirea analogică	< ± 0.05 mA la un domeniu de 0 ... 22 mA
Sarcină	max. 500 Ω
Comunicație digitală	Port USB, tip B
Intrări digitale	6 cu limită de comutare 0.00 VDC la 1.00 VDC pentru nivel scăzut, 2.30 VDC to 30.00 VDC pentru nivel ridicat
Intrări analogice	O intrare de 4 ... 20 mA, izolată galvanic de alte semnale
Eroare de măsură la intrarea analogică	< ± 0.05 mA la un domeniu de 0 ... 22 mA

Instrumentația selectată permite închiderea următoarelor bucle de reglare:

- Bucla de pH (traductor pH + regulator de debit CO₂)
- Bucla de turbiditate (traductor turbiditate + pompa de alimentare cu mediu de cultură)
- Bucla de iradianță medie (sursă de alimentare + panou de leduri)
- Bucla de temperatură (traductor de temperatură + ventilatoare)

2.5 Proiectarea sistemului de iluminare artificială a fotobioreactorului

Fluxul luminos incident joacă un rol vital în dezvoltarea culturilor de microorganisme fotosintetice. Acesta are rolul unui substrat limitativ al vitezei de creștere a microorganismelor și este cel care determină performanța fotobioreactorului. Microalgele captează lumina în domeniul vizibil (400 – 700nm). Această zonă a spectrului se numește PAR (Photosynthetic Active Radiation - Radiație fotosintetică activă). Lumina este captată de microalge și utilizată în procesul de fotosinteză. În cazul de față s-a optat pentru un sistem de iluminare care furnizează lumină „albă” cu un maxim al spectrului la 460 nm (Fig. 2.19) și „roșu îndepărtat” cu o valoare în intervalul (680 – 760 nm) (Fig. 2.20).

Lumina roșie contribuie esențial în procesul de fotosinteză și poate fi utilizată pentru a studia și procesul de producere a hidrogenului în fotobioreactor unde se folosește un spectru specific de emisie cu lungimi de undă peste 680 nm, această problemă nefiind însă obiectul prezentului proiect, ci se dorește a fi abordată în perspectivă.

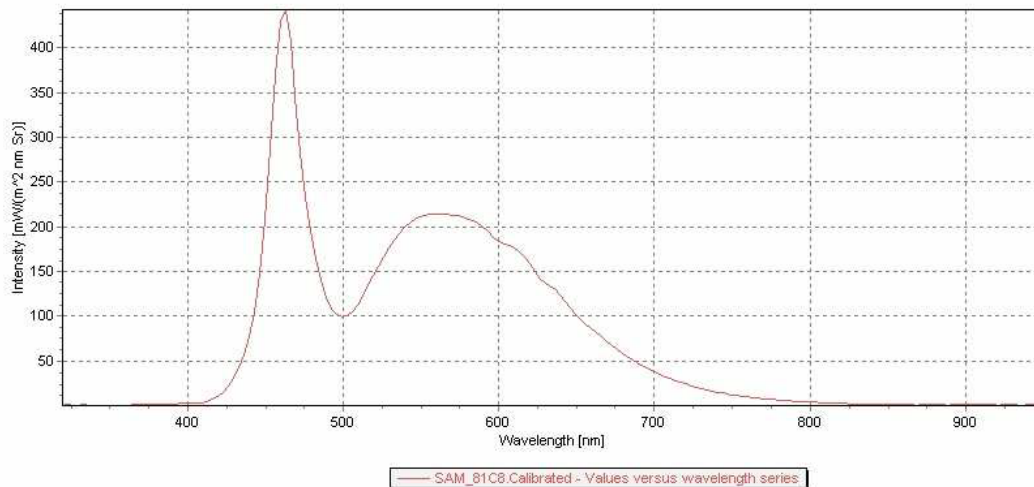


Fig. 2.19 Spectrul de emisie LED-urilor albe

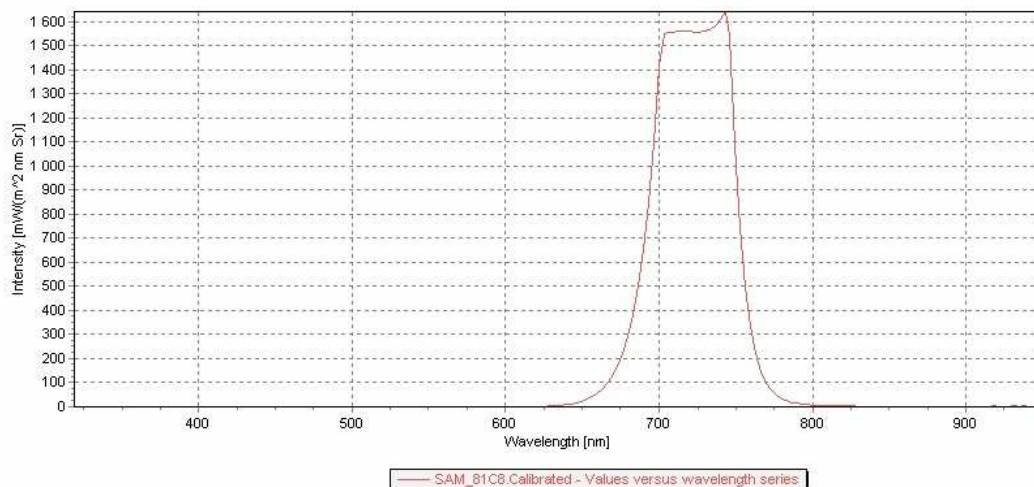


Fig. 2.20 Spectrul de emisie LED-urilor „roșu îndepărtat”

Ca structură, sistemul de iluminare conține următoarele elemente (v. Fig. 2.2):

1. Senzorul de lumină (servește la măsurarea mărimilor G_{zm} sau \dot{I})
2. Sistemul de iluminare format din panoul cu led-uri și sursa de tensiune variabilă
3. Sistemul de interfață dSpace (v. Secțiunea 2.6.2)
4. Regulatorul de G_{zm} sau γ , realizat software.

În continuare, se prezintă sistemul de iluminare format din panoul cu led-uri și sursa de tensiune variabilă.

Pentru proiectarea panoului cu LED-uri se vor folosi leduri *albe* de tip OSW5DK8131A având diametrul de 8mm, intensitatea luminoasă de 36000 mcd (milicandele) și un curent maxim de 30 mA și leduri *roșu îndepărtat* de tipul PK2N-3LEE-SD (M) având intensitatea luminoasă maximă de 225 mW

și un curent maxim de 350 mA. LED-urile vor fi montate pe un cablaj imprimat care va fi asamblat într-un panou cu dimensiunile de 375mm x 320mm. Dimensiunile panoului corespund unei fețe a fotobioreactorului, astfel încât să se asigure o iluminare uniformă a acestuia.

Din literatura de specialitate rezultă că, pentru sinteza clorofilei algelor, este nevoie de o intensitate luminoasă pentru ledurile albe cuprinsă în intervalul 50 - 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Din catalog rezultă intensitatea luminoasă furnizată de un led specificată în milicandele. Transformarea intensității luminoase din $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ în milicandele necesită o serie de transformări intermediare. Intensitatea necesară de 50 – 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ se transformă în lux rezultând o intensitate cuprinsă între 3700- 7400 lux. Având în vedere că suprafața fotobioreactorului este de 0.12 m^2 , rezultă un flux luminos necesar cuprins între 444 - 888 lumeni (lm) care, la rândul său, reprezintă o intensitate luminoasă necesară de 2073850 mcd (milicandele). Conform foii de catalog a led-urilor albe, intensitatea luminoasă a unui led este de 36000 mcd (cu o putere disipată de 0,108 W) ceea ce corespunde pentru întreg panoul la un necesar de 58 - 116 leduri. Se asigură o eficiență bună din punct de vedere a intensității luminoase dacă led-urile sunt conectate câte 6 în serie, rezultând un necesar de 120 leduri (20 grupuri serie conectate în paralel) sub forma unei matrici de 12 x 10 led-uri.

Intensitatea luminoasă necesară dată de led-urile „roșu îndepărtat” este de 177 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ceea ce corespunde la 13098 lux, iar transformată în wați rezultă o putere necesară de 2,028 W. Conform foii de catalog, un led dezvoltă 225 mW putere luminoasă utilă (cu o putere disipată de 3W), prin urmare sunt necesare 9 led-uri roșu îndepărtat. Acest număr este insuficient pentru a realiza o distribuție uniformă a luminii pe suprafața întregului panou și, prin urmare, se va folosi o matrice de 6x4 led-uri care asigură o intensitate luminoasă suficientă, intensitatea putând fi reglată prin variația curentului de alimentare la valoarea dorită. Rezultă un număr de led-uri roșu îndepărtat mai mic decât numărul de led-uri albe, acest lucru fiind justificat prin faptul că puterea led-urilor „roșu îndepărtat” este mult mai mare (3w față de 0,1 W la led-urile albe).

În final, rezultă o rețea de led-uri formată din 120 led-uri albe și 24 led-uri „roșu îndepărtat”, dispuse după cum este arătat în Fig. 2.21.

Modul de conectare a led-urilor este prezentat în Fig. 2.22.

Alimentarea grupurilor de led-uri se face dintr-o sursă cu tensiunea de fixă de 24 V și puterea de 200 W. Pentru a obține o tensiune variabilă pentru alimentarea led-urilor, a fost proiectat un regulator de curent comandat în tensiune (Fig. 2.23) de către o placă de achiziție de tip dSPACE DS1104, unde „ $U_{intrare}$ ” reprezintă tensiunea generată de placa de achiziție.

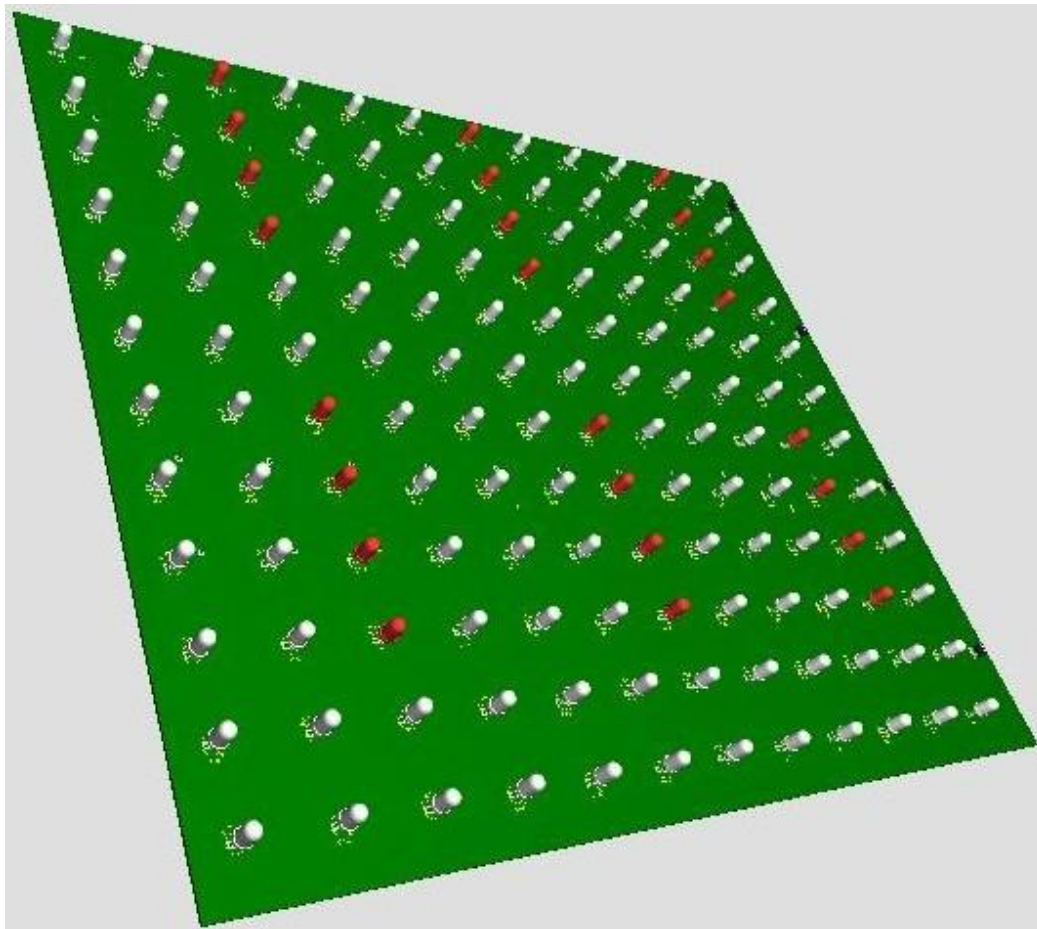


Fig. 2.21 Panoul cu dispunerea led-urilor albe și „roșu îndepărtat”

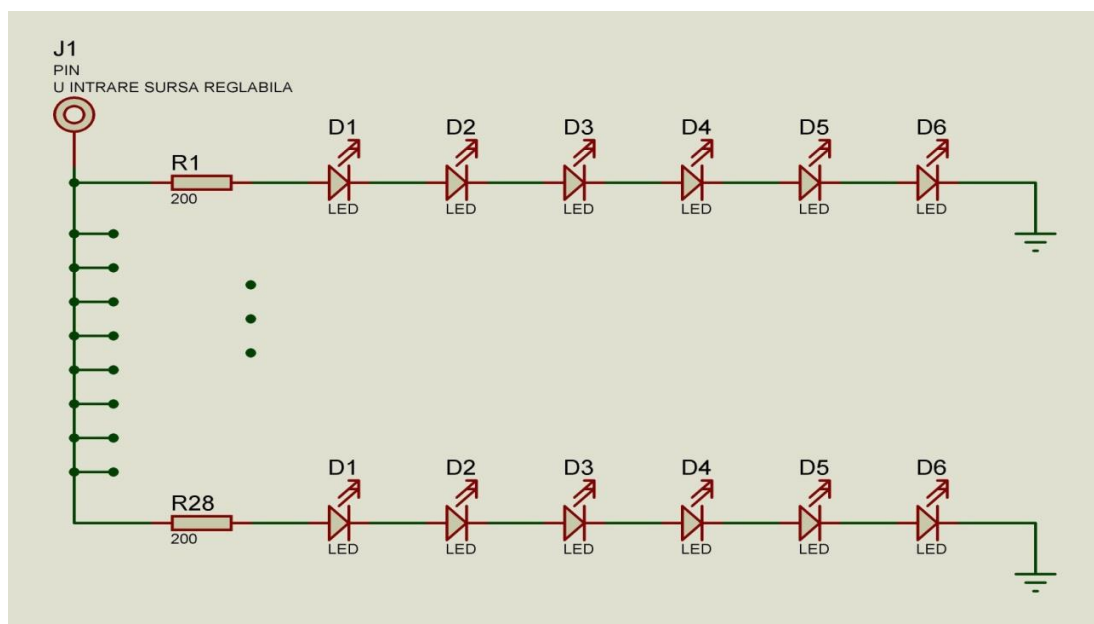


Fig. 2.22 Schema de conectare a led-urilor

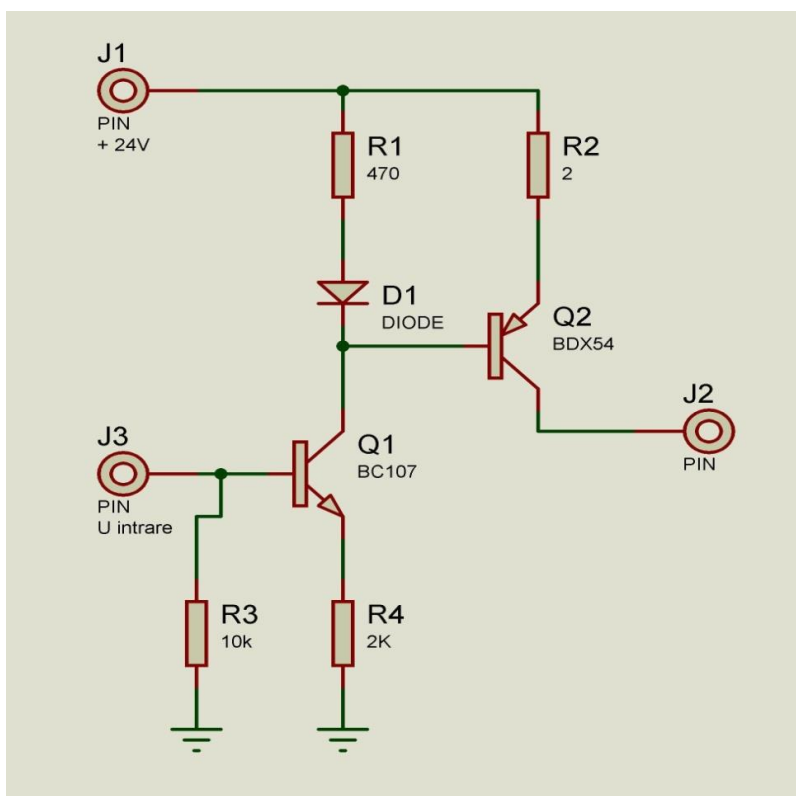


Fig. 2.23 Regulator de curent comandat în tensiune

2.6 Alegerea echipamentului de calcul și a sistemului de interfață

2.6.1 Sistemul de calcul

Pe calculatorul echipat cu placa de interfață dSpace (v. Secțiunea 2.6.2) trebuie să ruleze on-line întreaga aplicație de monitorizare și control a instalației de tip biorafinărie în structura HILS adoptată în cadrul proiectului BIOCON. Structura aplicației este prezentată în Fig 2.24. Pe calculatorul dotat cu placa dSpace vor rula programe specifice sistemului dSpace, așa cum este ControlDesk versiunea 4.2, care include aplicația pentru dezvoltarea interfețelor grafice, drivere de comunicație și compilatoare de Matlab. Așa cum se poate observa în Fig. 2.24, în structura software a sistemului HIL sunt realizate două subsisteme, pe baza suportului furnizat de dSpace: simulatorul soft de timp real (SSTR) și interfața grafică (HMI). La rândul său, SSTR include două module importante: simulatorul de timp real al digesterului și blocul reguletoarelor din cele 3 bucle aferente fotobioreactorului: pentru reglarea biomasei X , a iradianței medii G_{zm} (sau a mărimii Γ) și pentru reglarea pH-ului. Alături de alte mărimi fizice din proces, care se monitorizează în interfața grafică HMI, mărimile reglate sunt achiziționate prin placa I/O, iar comenzile reguletoarelor sunt transferate în sens invers, spre proces. Referințele buclelor și parametrii reguletoarelor sunt setate prin HMI și transmise blocului SSTR. O serie de comenzi discrete, care vizează selectarea regimurilor de lucru, pot fi activate prin interfața grafică și sunt destinate procesului fizic condus și/sau regimului reguletoarelor din SSTR (de ex., manual/automat etc.).

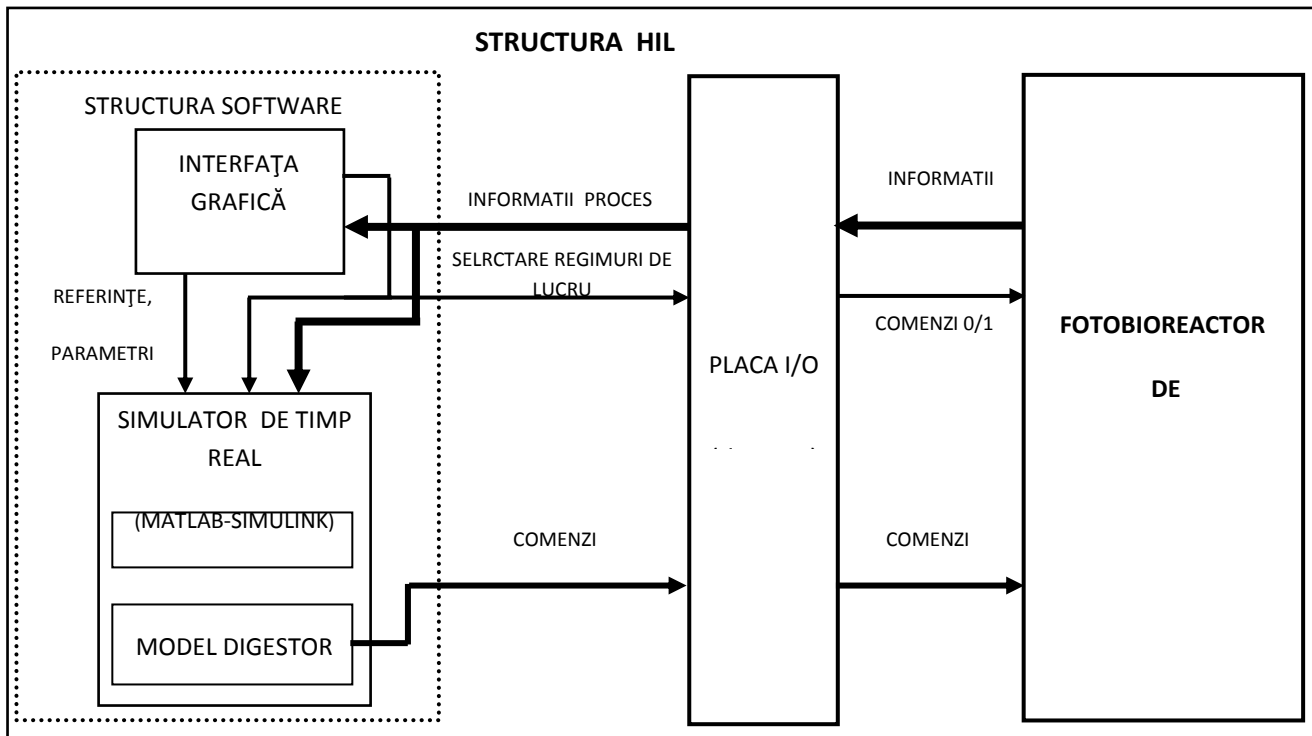


Fig. 2.24 Structura aplicației de conducere a instalației de tip biorafinărie

Cu toate că volumul de calcul realizat în simulatorul de timp real este foarte mare, timpul de calcul nu este o problemă critică, deoarece procesul condus este cu dinamici lente, astfel încât se poate alege o perioadă de eșantionare mare (de ordinul minutelor) în operațiile de simulare din SSTR. În consecință, pentru dezvoltarea aplicației de control a instalației de tip biorafinărie, atât în regim de simulare numerică, cât și în timp real, s-a utilizat un calculator cu performanțe medii, în următoarea configurație: placa de bază GIGABYTE GA-H81-D3, Procesor Intel Core i3 4160 3.6 GHz box, Monitor LED 21.5 inch, 5ms, carcasa In Win 707 Black Red USB 3.0 - (dimensiuni 532 x 582 x 243 mm), Memorie 8GB DDR3 1600MHz CL9 Dual Channel Kit, Hard disk WD Blue 1TB SATA-III 7200 RPM 64MB, Sursa minim 500W, Kit tastatura + mouse.

2.6.2 Sistemul de interfață

Sistemul de monitorizare și control al fotobioreactorului necesită o interfață pentru achiziție și comandă, configurată în funcție de semnalele provenite de la transductoare și cele de comandă a elementelor de execuție. Astfel, în cadrul aplicației se achiziționează următoarele semnale analogice:

- pH
- turbiditate
- debit de CO₂
- debit de N₂
- debit gaze la ieșire
- intensitatea luminoasă la fața din spate a fotobioreactorului
- temperatură,

în total 7 semnale analogice. În perspectivă, se prevede și posibilitatea achiziției informației de oxigen dizolvat. Pentru ieșirile analogice:

- acționarea a două pompe (alimentare cu mediu de cultură și evacuare conținut fotobioreactor)
- comanda a două valve cu acțiune continuă (alimentare cu CO₂ și N₂)
- comanda sursei pentru sistemul de iluminare a fotobioreactorului.

De asemenea, sunt necesare până la 5 ieșiri numerice pentru comanda unor valve on-off necesare blocării sau deblocării unor trasee de alimentare, precum și o intrare numerică pentru semnalul de stop-avarie general.

S-a optat pentru un sistem de interfață profesional, din familia dSpace, care asigură necesarul de intrări – ieșiri pentru dezvoltarea aplicației de monitorizare și conducere a fotobioreactorului. În continuare sunt prezentate câteva caracteristici ale sistemului de interfață ales:

Modulul, format din placa dSPACE DS1104 și conectorul CLP1104 (Fig. 2.25), este un echipament de control numeric care are la baza un procesor de semnal ("Digital Signal Processor" - DSP) și este destinat dezvoltării aplicațiilor în domeniul achiziției și prelucrării semnalelor, al executării taskurilor conexe, ce implică regulatoare numerice și simulări în timp real. Ansamblul, format din modulul dSPACE și mediile de programare Matlab/Simulink și ControlDesk, permite dezvoltarea echipamentelor de conducere numerică și efectuarea de analize on-line ale comportării sistemelor automate. Astfel, atenția proiectantului poate fi concentrată doar pe etapa de proiectare a modelului sistemului dinamic, al algoritmului de conducere automată sau de prelucrare de semnale. Avantajele pe care le aduce utilizarea ansamblului sunt următoarele:

- posibilitatea proiectării interactive și iterative;
- implementare simplă și rapidă a modelelor Simulink;
- configurare grafică simplă a interfețelor;
- reducerea semnificativă a efortului și timpului de implementare, prin generarea complet automată a codului;
- posibilitatea verificării, prin simulare în timp real, a strategiilor de conducere sau de prelucrare numerică a semnalelor.



a)

b)

Fig. 2.25 a) Placa dSPACE DS1104 b) Conectorul CLP1104

Placa de achiziție DS1104 permite testarea și analiza algoritmilor de control în timp real, prin modelarea și simularea atât în buclă închisă (Hardware-in-the-Loop) – HIL, cât și în buclă deschisă.

Aceasta poate fi instalată în aproape orice tip de PC cu un slot PCI sau PCIe liber, transformându-l într-un sistem de dezvoltare pentru realizarea de prototipuri.

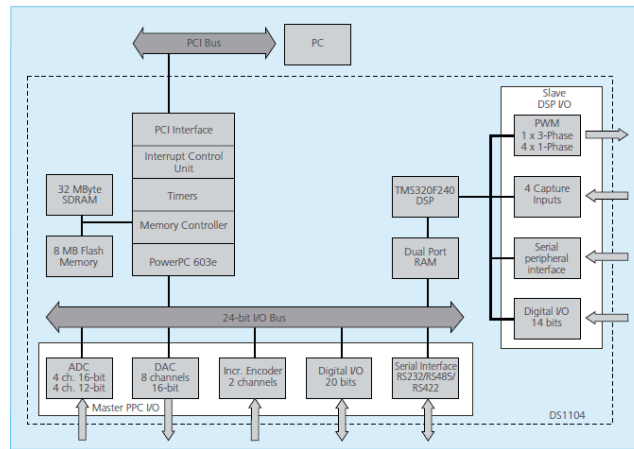


Fig. 2.26 Diagrama bloc dSPACE DS1104

Generarea codului executabil specific simulatorului DS1104 se face utilizând componenta Simulink Real-Time a programului Matlab și compilatorul sistemului DS1104. Programul executabil se transferă pe modulul DS 1104 unde rulează în timp real. Cu ajutorul mediului de dezvoltare ControlDesk se pot realiza interfețe grafice. Trebuie menționat faptul că interfața grafică specifică aplicației prezentului proiect a fost dezvoltată în ControlDesk (v. Capitolul 4 al RST extins). Software-ul ControlDesk este un mediu ce asigură toate facilitățile de gestiune a resurselor hardware, achiziție de date și realizarea de interfețe grafice. Datorită puterii mari de calcul și arhitecturii utilizate, este permisă afișarea în timp real a variabilelor și realizarea unor modele cu parametri ajustabili.

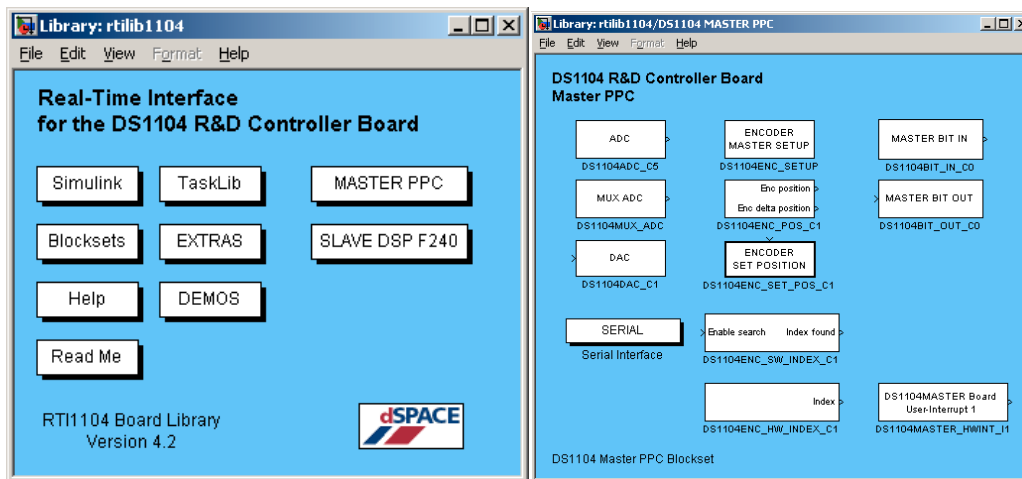


Fig. 2.27 Biblioteca Simulink Real-Time Matlab

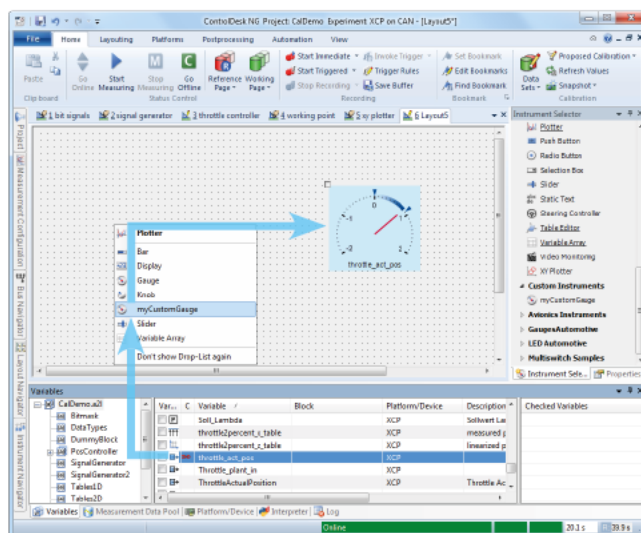


Fig. 2.28 Captură - fereastră ControlDesk

Tabelul 2.2 prezintă sintetic principalele caracteristici tehnice ale modului DS 1104:

Tabelul 2.2: Caracteristici tehnice ale plăcii DS1104 și ale conectorului CLP1104

Parametru	Detalii	
Tip procesor	MPC8240, 250 MHz, 64 biti, 2 x 16KB cache	
Memorie	32 MB SDRAM, 8MB flash	
Timer	4 x 32-bit decremental, rezoluție 80ns 1 sampling rate dimer x 32-bit, rezoluție 40ns 1 time base counter x 64-bit, rezoluție 40ns	
Controller de intreruperi	5 x timer interrupts 2 x incremental encoder index line interrupts 1 x UART interrupt 1 x slave DSP interrupt 1 x slave DSP PWM interrupt 5 x controllere de intreruperi A/D (sfârșit de conversie) 1 x host interrupt 4 x intreruperi externe (intreruperi utilizator)	
Convertor Analog/Digital	Canale	4 canale multiplexate echipate cu un convertor sample & hold A/D (1x16-bit) 4 canale paralel, fiecare echipat cu un convertor sample & hold A/D (4x12-bit) Nota: 5 canale A/D (1x16-bit and 4x12-bit) pot fi eșantionate simultan
	Rezoluție	Canale multiplexate: 16 bit Canale paralel: 12 bit
	Tensiunea de intrare	±10 V
	Timp conversie	Canale multiplexate: 2 μs Canale paralele: 800 ns
	Eroare Offset	±5 mV

	Eroare amplificare	Canale multiplexate: $\pm 0.25\%$ Canale paralel: $\pm 0.5\%$
	Nivel zgomot	Canale multiplexate: >80 dB Canale paralel >65 dB
Convertor Digital/Analog	Canale	8 canale
	Rezoluție	16-bit
	Tensiune ieșire	± 10 V
	Timp de eșantionare	Max. $10 \mu\text{s}$ (nivel maxim, acuratețe $\frac{1}{2}$ LSB)
	Eroare Offset	± 1 mV
	Eroare Amplificare	$\pm 0.1\%$
	Nivel zgomot	80 dB
	I _{max}	± 5 mA
I/O digitale	Canale	20-bit parallel I/O
	Nivel tensiune	TTL input/output levels
	I _{out, max}	± 5 mA
Procesor secundar	Tip	Texas Instruments TMS320F240 DSP 16-bit fixed-point processor
	Frecvență	20 MHz
	Memorie	64Kx16 external code memory 28Kx16 external data memory 4Kx16 dual-port memory for communication 32KB flash memory
	Canale I/O	10 ieșiri PWM 4 capture inputs 1 serial peripheral interface
	Intrare tensiune	TTL input/output level Intrare convertor A/D: 0 ... 5 V
	Ieșire curent	Max. ± 13 mA
	Slot conectare	PCI, PCIe
Caracteristici fizice	Dimensiuni	185 x 107 mm (7.28 x 4.2 in)
	Temperatură de funcționare	0 ... 55 °C
	Răcire	Tip, activă cu ventilator
	Puterea consumată	18.5 W
	Alimentare	+5 V $\pm 5\%$, 2.5 A +12 V $\pm 5\%$, 0.3 A 12 V $\pm 5\%$, 0.2 A
	Conector CLP 1104	Conectori tip BNC
8 ieșiri D/A		
Conectori tip Sub-D		Digital I/O
		Slave DSP I/O
		Interfață encoder incremental
		Interfață serială

Capitolul 3: Activitatea 2.4 - Proiectarea sistemului de interfață om-mașină pentru instalația de tip biorafinărie, în conformitate cu structura HILS adoptată.

3.1 Introducere

În această etapă a proiectului a fost realizată interfața om-mașină pentru monitorizarea și controlul instalației de tip biorafinărie. Aceasta va fi parte integrantă a sistemului HILS pilot cu care se vor face experimente în etapa 3 a proiectului. Cum pentru implementarea sistemului de conducere a instalației de tip biorafinărie s-a optat pentru o placă de achiziție de tip dSpace (v. secțiunea 2.6.2), pentru dezvoltarea interfeței grafice s-a utilizat mediul de programare ControlDesk, specific sistemului dSpace.

În continuare sunt prezentate o serie de elemente de proiectare, dezvoltare și de lucru specifice sistemului dSpace. Modulele software de control sunt dezvoltate în Matlab Simulink și sunt încărcate pe placa dSpace DS1104, placă care este folosită în cadrul proiectului. Acestea rulează programele și interacționează cu procesul prin intermediul intrărilor și ieșirilor fizice ale aplicației. Utilizatorul va interacționa cu instalația pilot prin intermediul interfeței HMI dezvoltată cu ajutorul sistemului software ControlDesk. Acest mediu de dezvoltare al aplicațiilor de interfață om – mașină, permite interacțiunea la nivel hardware cu procesul utilizând plăci de achiziție dSpace de diverse tipuri: DS2002, DS2101, DS4001, DS4302, DS1104 etc. facilitând dezvoltarea de sisteme de timp real care pot simula sau controla arhitecturi de tip RCP (Rapid Control Prototype) sau HIL (Hardware – In – the – Loop), așa cum este cazul din aplicația dezvoltată în cadrul proiectului BIOCON. În principiu, dezvoltarea unei aplicații pleacă de la definirea unui proiect, precum și de la selectarea și înregistrarea unei platforme de lucru. Această platformă reprezintă module sau device-uri de achiziție dSpace care preiau și transmit semnale către procesul fizic. Practic, mediul Matlab-Simulink permite generarea unui modul software în cod mașină specific sistemului dSpace. Acesta rulează pe placa dSpace și comunică cu aplicația de interfața grafică care rulează pe calculator.

Pentru o prezentare cât mai sugestivă a funcționării interfeței grafice, s-a pus pe site-ul proiectului Biocon o înregistrare video care prezintă modul de operare al acesteia în diverse regimuri de lucru (<http://www.biocon.ugal.ro/images/prezentare%20video.mp4>).

3.2 Principalele funcții ale interfeței om – masina (HMI)

Interfața om – mașină proiectată pentru sistemul de monitorizare și control al instalației de tip biorafinărie trebuie să fie prietenoasă și să permită îndeplinirea activităților de cercetare care se vor desfășura pe această instalație în etapa 3 a proiectului. Astfel, este necesar ca interfața proiectată să asigure:

- afișarea numerică a mărimilor de interes din cadrul procesului în casete dedicate;
- urmărirea în timp real a evoluțiilor mărimilor de interes în ferestre grafice special definite;
- introducerea valorilor mărimilor de referință pentru buclele de reglare ale sistemului de control pentru instalația de tip biorafinărie;
- schimbarea parametrilor reguletoarelor; în acest fel se oferă posibilitatea operatorului să intervină în timpul procesului pentru a corecta parametrii reguletoarelor în timp real;
- memorarea valorilor mărimilor de interes din cadrul procesului în fișiere de tip *mat* pentru prelucrări ulterioare off-line.

3.3 Structura și descrierea HMI

Instalația pilot de tip biorafinărie are două componente majore, și anume digesterul anaerob și fotobioreactorul pentru creșterea autotrofică a microalgelor. Pentru a fi cât mai sugestivă, interfața HMI a fost dezvoltată pe baza unei scheme sinoptice prezentată în Fig. 2.1 (v. Secțiunea 2.1). Interfața trebuie să furnizeze date despre procesul global și despre schimburile dintre cele două componente ale lui și, în același timp, să asigure funcționalitatea celor trei bucle de reglare ale sistemului de control aferent instalației de tip biorafinărie.

Au fost proiectate mai multe ecrane, după cum urmează:

1. Ecranul principal (general)

Aceasta conține schema globală a instalației de tip biorafinărie cu cele două componente menționate (Fig. 3.1). În acest ecran sunt prezentate fluxurile dintre cele două componente: un flux dat de mediul de cultură care intră în fotobioreactor, un al doilea flux, de CO₂ care, de asemenea, intră în fotobioreactor împreună cu fluxul de azot utilizat pentru barbotarea mediului din fotobioreactor. Un alt flux este cel de biomasă (microalge) care este adusă din fotobioreactor în digesterul anaerob. Împreună cu biomasa algală, în digester intră și substratul extern, supus procesului de fermentație pentru producerea metanului. Ultimul flux este cel luminos, care asigură energia necesară procesului de fotosinteză pentru creșterea microalgelor în fotobioreactor. Deasemenea, în schema sinoptică se pot vedea o serie de simboluri specifice domeniului pentru a asigura claritate și coerență interfeței.

Așa cum s-a arătat anterior, în această fereastră se pot observa numai indicații numerice, de tip casete de afișare sau alte divice-uri pentru introducerea de valori, în special este vorba de referințe pentru buclele de reglare sau privind posibilitatea selectării regimului de funcționare: AUTOMAT/MANUAL. Acestea sunt prezentate în detaliu în cele ce urmează:

1. Introducere mărimi de referință

Se pot fixa trei mărimi de referință, corespunzătoare celor trei bucle de reglare aferente fotobioreactorului (bucla de reglare a bioamasei algale, cea pentru reglarea pH-ului și a treia pentru reglarea mărimii G_{zm}). În acest scop, se folosesc elemente grafice de tip indicator cu cursor, aflate în partea dreaptă a ecranului (Fig. 3.2 a, b și c).

Aceste indicatoare sunt prevăzute și cu posibilitatea de a afișa mărimea de referință fixată, într-o casetă aflată în dreapta indicatorului, după cum se vede în Fig. 3.2. De asemenea, pentru fiecare indicator au fost definite domeniile aferente variațiilor mărimilor de referință în cadrul aplicației: pentru pH – [5 – 10], pentru biomasa algală [0 - 4] mg/l și pentru iradianța medie în adâncimea fotobioreactorului [0 - 300]. Ca exemplu, în Fig. 3.2 au fost fixate următoarele valori de referință: $pH_{ref} = 7.5$, $X_{ref} = 0.935$ și $G_{zmref} = 80$.

2. Vizualizarea valorilor mărimilor de interes

Afișarea mărimilor măsurate direct sau indirect se face în casete dedicate. Sunt afișate, în casetele de culoare albastră (Fig. 3.3 a, b, c) următoarele mărimi: valoarea măsurată a pH-ului, a bioamasei algale (în aceasta fază a proiectului ea este furnizată de modelul matematic al instalației de tip biorafinărie pe care s-a validat interfața HMI) și valoarea variabilei G_{zm} care este furnizată de același model matematic. Ca exemplu, în Fig. 4.3 a, b și c sunt afișate următoarele valori numerice: pH = 7.454, $X = 0.935$ și $G_{zm} = 80.004$ (v. Fig. 3.3 a, b, c).

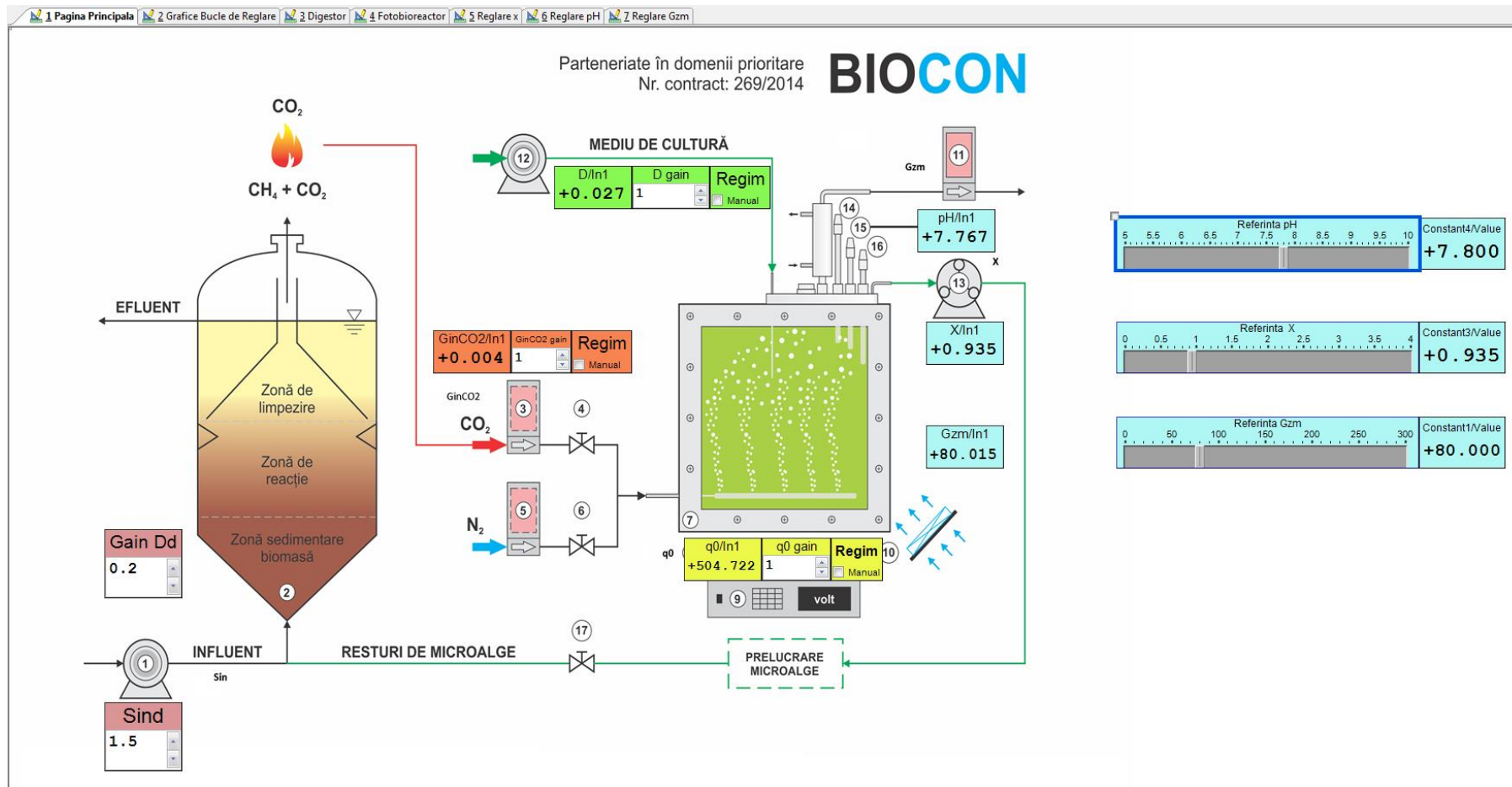
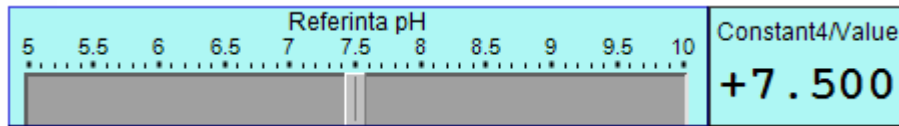
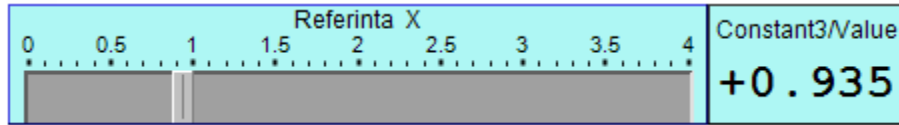


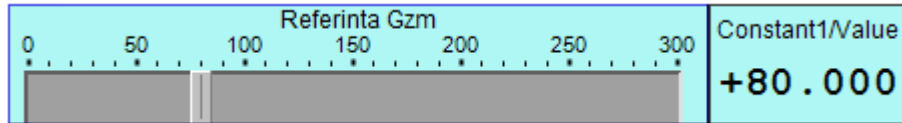
Fig. 3.1 Ecranul principal al interfeței HMI



a – referința de pH

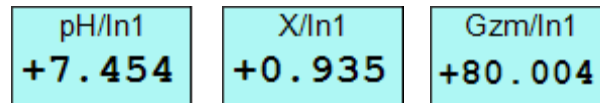


b – referința de biomasa algală



c – referința de iradianță medie

Fig. 3.2 Referințe bucle de reglare



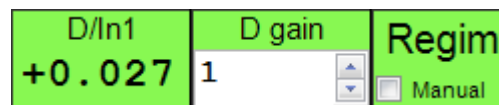
a – pH

b – X

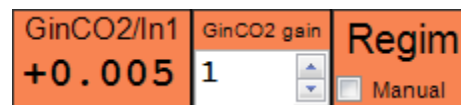
c - G_{zm}

Fig. 3.3 Valori măsurate în proces

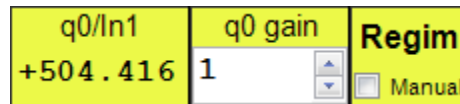
Pentru fiecare buclă de reglare dintre cele trei menționate, au fost prevăzute casete triple marcate în fereastra principală cu culoarea verde pentru bucla de biomasa, maro pentru bucla de pH și cu culoare galbenă pentru bucla de reglare a G_{zm} (Fig. 3.4 a, b și c), casete care au următoarele funcționalități: se selectează regimul de funcționare automat-manual; se afișează valorile comenzilor din cele trei bucle (rata de diluție - D_{in} , cantitatea de CO_2 - G_{inCO_2} și fluxul incident de lumină - q_0). Trebuie menționat faptul că, în această fază a proiectului, este necesară definirea unei casete suplimentare (cea din mijloc) care permite introducerea valorii unei amplificări cu scopul de a putea fixa în regim manual valoarea mărimii de comandă specifică buclei respective. Acest artificiu a fost necesar pentru a putea testa interfața grafică pe modelul matematic prezentat în secțiunea următoare, care este un model liniar în variații ale mărimilor procesului. În etapa 3 a proiectului, când interfața HMI va lucra direct cu fotobioreactorul fizic, această casetă va fi înlocuită cu o casetă pentru introducerea valorii efective a comenzii pentru regimul manual.



a – casetă pentru definirea regimului de funcționare a buclei de biomasa și afișarea ratei de diluție



b – casetă pentru definirea regimului de funcționare a buclei de pH și afișarea comenzii de CO_2



c – casetă pentru definirea regimului de funcționare abuclei de G_{zm} și afișarea fluxului luminos incident

Fig. 3.4 Casete pentru definirea regimurilor de funcționare și afișarea comenzilor

Tot în ecranul principal au fost definite două casete pentru digesterul anaerob: în prima casetă se introduce valoarea substratului de intrare în acesta, substrat care fermentează și se produce gaz metan (Fig. 3.5 a). Această mărime este, din punct de vedere sistemic, o perturbație pentru instalația de tip biorafinărie. Pentru a putea modifica on-line amplitudinea ratei de diluție - D_d a digesterului anaerob care, în modelul matematic al instalației de tip biorafinărie este un semnal aleator de tip zgomot alb, s-a introdus o casetă suplimentară care oferă posibilitatea introducerii unui factor de amplificare pentru care modifică valoarea acesteia (Fig. 3.5b).

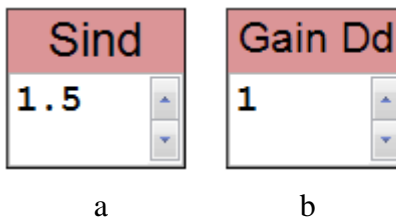


Fig. 3.5 Casete pentru substratul de intrare în digester și pentru definirea ratei de diluție (gain D_d)

2. Ecranul aferent digesterului anaerob

Ecranul pentru digesterul anaerob conține, pe lângă informațiile deja menționate la prezentarea ecranului principal, o fereastră grafică în care se pot vizualiza evoluțiile celor două mărimi specifice digesterului anaerob: cantitatea de metan produsă la ieșirea acestuia și mărimea de intrare în digester - D_d (Fig. 3.6). De asemenea, se afișează on-line și valoarea numerică a metanului la ieșirea digesterului anaerob.

3. Ecranele aferente fotobioreactorului

Pentru fotobioreactor au fost prevăzute două ecrane, datorită faptului că acesta este mult mai complex, necesitând afișarea și modificarea unui număr mai mare de mărimi de interes. Primul ecran (Fig. 3.7) conține numai valori numerice (casete pentru afișare sau pentru introducerea de valori numerice pentru cele trei bucle de reglare ale fotobioreactorului) așa cum s-a prezentat la ecranul principal. În plus față de ecranul principal, au fost definite 6 casete suplimentare pentru parametrii reguletoarelor. În felul acesta parametrii reguletoarelor pot fi ușor modificați în timpul simulării sau a funcționării instalației. Al doilea ecran aferent fotobioreactorului conține ferestre grafice pentru vizualizarea evoluțiilor mărimilor din cele trei bucle de reglare (bucula de biomasă, cea de pH și cea de iluminare). Fiecare fereastră este organizată astfel: în partea de sus se afișează mărimea măsurată și referința, iar în partea de jos mărimea de comandă (Fig. 3.8).

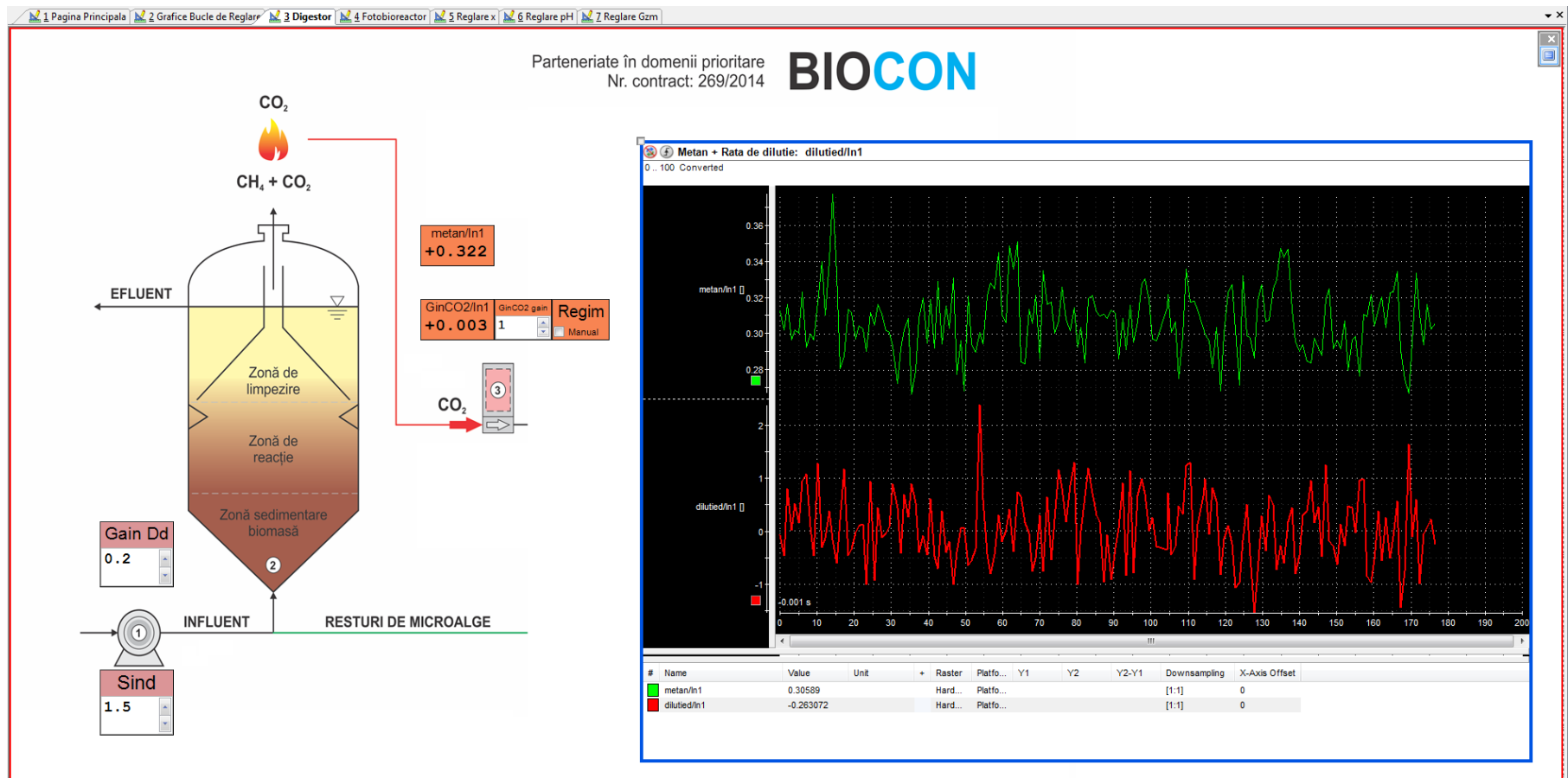


Fig. 3.6 Ecranul aferent digesterului anaerob

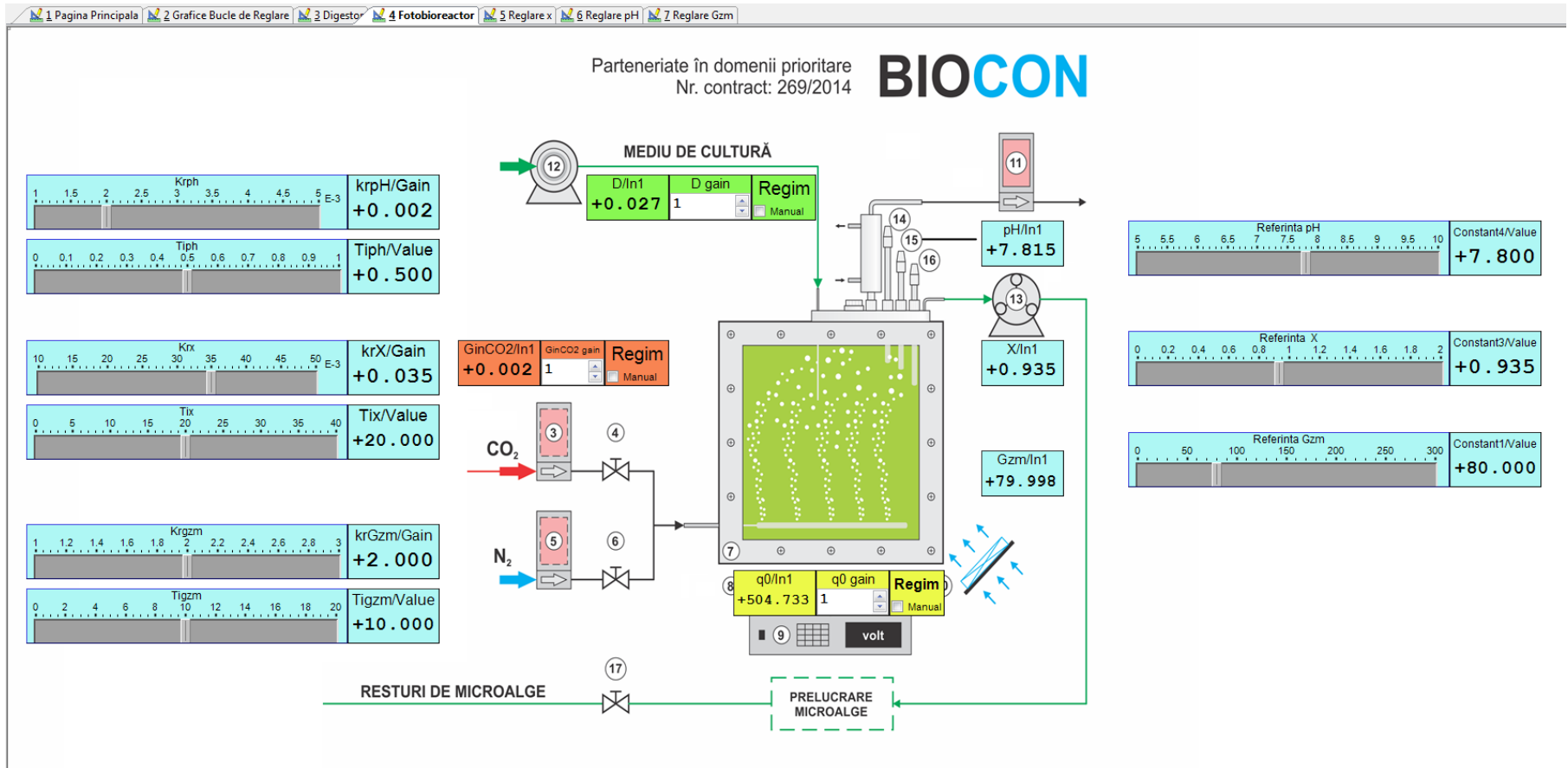


Fig. 3.7 Primul ecran aferent fotobioreactorului

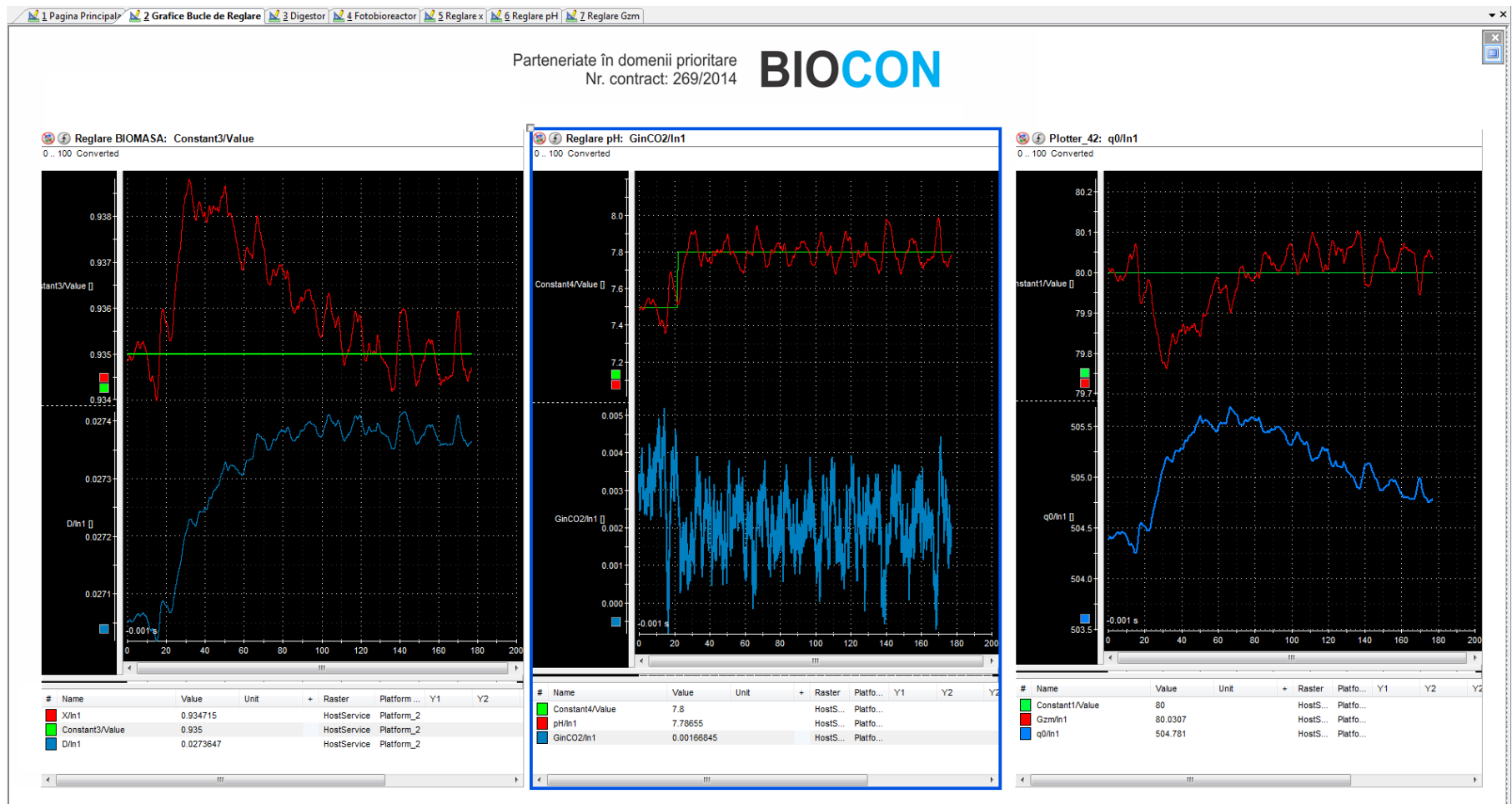


Fig. 3.8 Ecran cu ferestrele grafice aferente fotobioreactorului

3.4 Testarea și validarea interfeței grafice

Testarea și validarea interfeței grafice s-a făcut pe un model matematic simplu, obținut prin liniarizarea modelului neliniar al fotobioreactorului prezentat în RST 1.

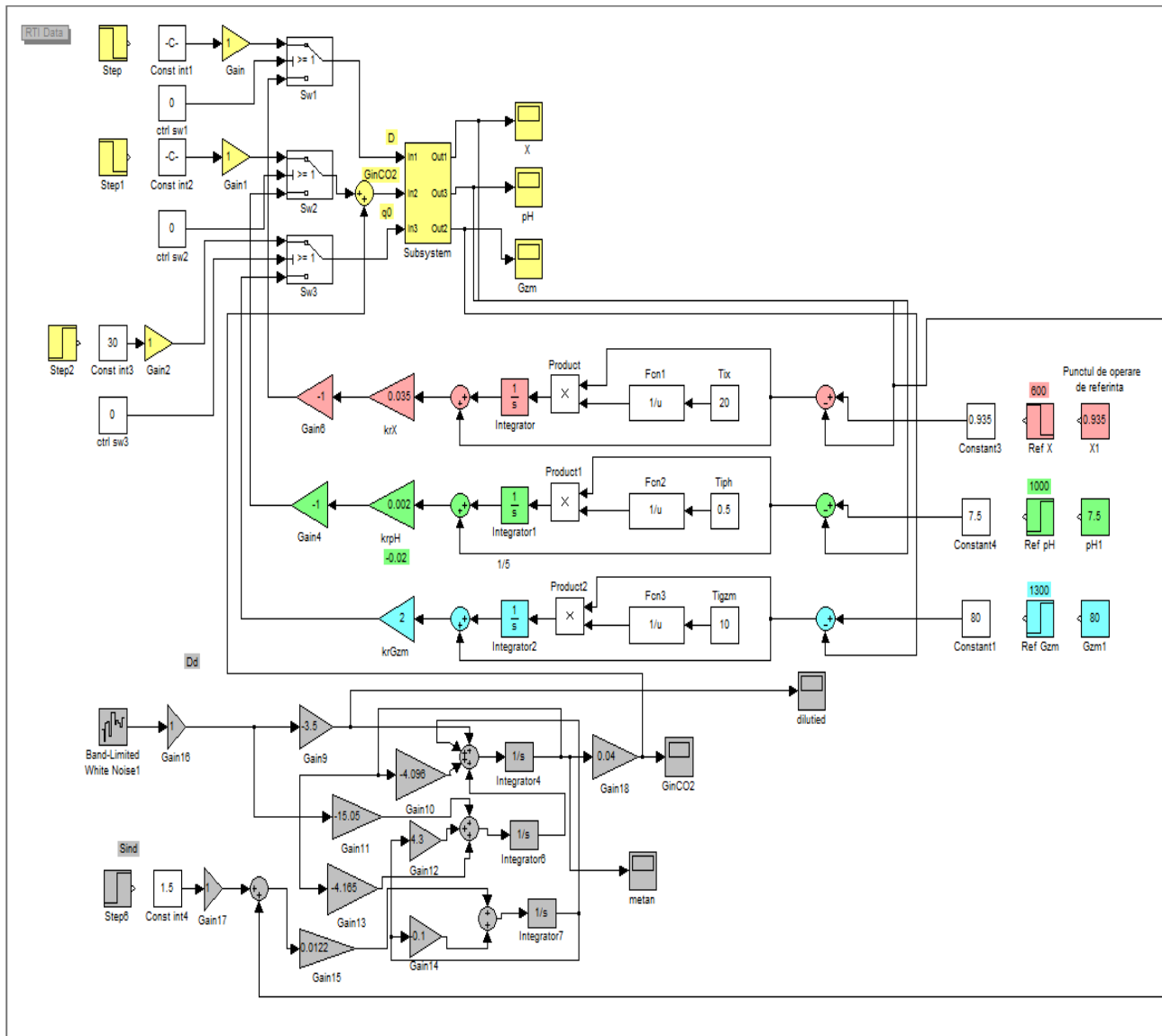


Fig. 3.9 a – Modelul matematic al instalației de tip biorafinărie

Modelul matematic a fost construit în mediul Matlab-Simulink și a fost liniarizat în variații ale variabilelor. Acesta este prezentat în Fig. 3.9 a și b. Fig. 3.9a conține modelul instalației de tip biorafinărie incluzând regulatele aferente celor trei bucle de reglare (biomasă algală, pH și G_{zm}) iar Fig. 3.9b conține modelul fotobioreactorului.

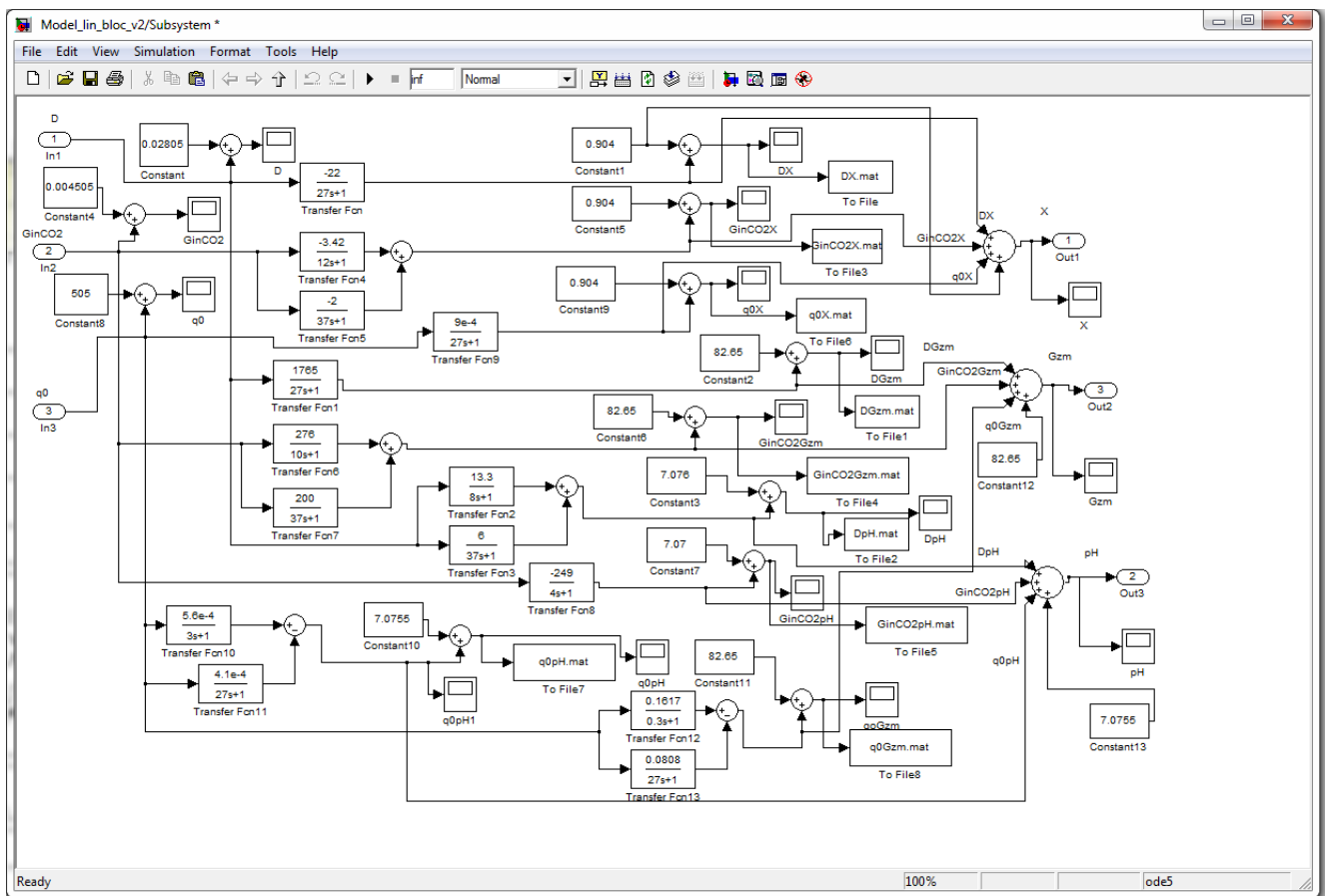


Fig. 3.9 b – Modelul matematic liniarizat al fotobioreactorului

3.5 Concluzii la capitolul 3

A fost realizată interfața grafică pentru instalația de tip biorafinărie care, în etapa 3 a proiectului, va fi parte componentă a structurii de tip HILS. Interfața HMI a fost dezvoltată în mediul ControlDesk, specific sistemului dSpace. Acesta oferă o serie de facilități pentru dezvoltarea și implementarea interfețelor grafice om-mașină, beneficiază de instrumente predefinite care pot fi ușor configurate și adăugate în schemele aferente interfeței și permite adăugarea de noi ecrane în vederea extinderii funcționalității acestora. S-a urmărit ca interfața să fie „prietenoasă” astfel încât să permită îndeplinirea activităților de cercetare care se vor desfășura pe această instalație în etapa 3 a proiectului. Au fost prevăzute ecrane pentru afișarea generală a informațiilor din cadrul procesului, ecrane separate pentru cele două componente ale instalației de tip biorafinărie (digestorul anaerob și fotobioreactorul), precum și ecrane pentru afișări grafice pentru urmărirea în timp real a variabilelor de interes din proces. Pe site-ul proiectului BIOCON, la adresa <http://www.biocon.ugal.ro/images/prezentare%20video.mp4> se găsește o prezentare video în care se poate vedea modul cum lucrează interfața grafică în diferite regimuri de lucru.